

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
Ι Δ Ρ Υ Μ Α



ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΤΕΙ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε

Τεχνολογίες Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Πτυχιακή Εργασία

Των

Ζάβρα Μενέλαου-Παύλου

Ζαχαράκη Ιωάννη

Επιβλέπων: Ιωάννης Λιαπέρδος

Σπάρτη 2017

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η βιβλιογραφική ανάλυση της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Στις μέρες μας η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει να επιδείξει σημαντικές καινοτομίες. Στην πτυχιακή αυτή, περιγράφονται οι βασικές μέθοδοι, οι τεχνικές και τα υλικά που χρησιμοποιούνται κυρίως από την βιομηχανία. Στη συνέχεια της εργασίας αναφέρονται οι σημαντικότερες εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε διάφορους κλάδους όπως η ιατρική, η οδοντιατρική, η αεροναυπηγική, η αυτοκινητοβιομηχανία, η βιομηχανία τροφίμων αλλά και σε ποικίλα καταναλωτικών προϊόντων. Τέλος, γίνεται αναφορά στις μελλοντικές τάσεις του σχεδιασμού και παραγωγής νέων προϊόντων αλλά και στις μελλοντικές εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Λέξεις κλειδιά

Τρισδιάστατη εκτύπωση, πρωτοτυποποίηση, μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης, υλικά τρισδιάστατης εκτύπωσης, εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης, τετραδιάστατη εκτύπωση.

Abstract

The purpose of this dissertation is the bibliographic analysis of three-dimensional printing. Nowadays three-dimensional printing has major innovations. In this dissertation we describe the basic methods, techniques and materials used mainly by industry. After that, we describe the most important applications of 3D printing in each sector, such as medicine, dentistry, aeronautics, automotive, food and a variety of consumer products. Finally, reference is made to future trends in the design and production of new products, as well as in future applications of 3D printing.

Keywords

3D printing, prototyping, 3D printing methods, 3D printing materials, 3D printing applications, 4D printing.

"Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάση επιστημονικής παράφρασης.

Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων.

Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δε μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας."

Όνομα και Επώνυμο Συγγραφέα (Με Κεφαλαία):

Υπογραφή (Ολογράφως, χωρίς μονογραφή):

Ημερομηνία (Ημέρα - Μήνας - Έτος):

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε καταρχήν να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή κ. Ιωάννη Λιαπέρδο για την επίβλεψη αυτής της πτυχιακής εργασίας και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας για την ηθική συμπαράσταση που μας πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Σπάρτη, Σεπτέμβριος 2017

*Ζάβρας Μενέλαος-Παύλος
Ζαχαράκης Ιωάννης*

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	2
Λέξεις κλειδιά.....	2
Abstract	4
Keywords	4
Ευχαριστίες.....	6
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	12
1.1 Ορισμός Τρισδιάστατης Εκτύπωσης	12
1.2 Ιστορικά Στοιχεία.....	13
1.3 Η άνοδος της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης	15
Κεφάλαιο 2. Τεχνολογία Τρισδιάστατης Εκτύπωσης.....	16
2.1 Μέθοδοι Τρισδιάστατης Εκτύπωσης	16
Κεφάλαιο 3. Παράμετροι Τρισδιάστατης Εκτύπωσης	19
3.1 Υλικά.....	19
3.2 Ανάλυση Εκτύπωσης	22
3.3 Πυκνότητα Εκτύπωσης.....	22
Κεφάλαιο 4. Συμβατικές μέθοδοι παραγωγής τρισδιάστατων αντικειμένων.....	23
4.1 Συμβατικές μέθοδοι παραγωγής	23
4.1.1 Χύτευση με έγχυση	23
4.1.2 Μηχανική κατεργασία.....	23
4.1.3 Πλαστική μορφοποίηση	24
4.1.4 Συναρμολόγηση	24
Κεφάλαιο 5. Εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης	25
5.1 Εφαρμογές στην Ιατρική	25
5.1.1 Βιοεκτύπωση ιστών και οργάνων	25
5.2 Εφαρμογές στην Οδοντιατρική	27
5.2.1 Οδοντιατρικές Ρητίνες.....	27
5.2.2 3D Εκτυπωμένες Οδοντοστοιχίες.....	28
5.2.3 3D Εκτύπωση στη Στοματολογία και στη Γναθο-Χειρουργική.....	28
5.2.4 Σύνοψη των Οδοντιατρικών Εφαρμογών	29
5.3 Εφαρμογές της 3D εκτύπωσης στην Αεροναυπηγική	29
5.3.1 3D Εκτυπωμένος Πύραυλος.....	30
5.3.2 3D εκτυπωμένος κινητήρας τζετ	31
5.4 Εφαρμογές 3D εκτύπωσης στην Αυτοκινητοβιομηχανία	33

5.4.1 Koenigsegg One:1	33
5.4.2 Audi Spare Parts	34
5.4.3 Honda Access.....	35
5.4.4 Μονοθέσιο Williams F1	35
5.4.5 Ελαστικά Hankook.....	36
5.4.6 Luxexcel automotive lenses.....	37
5.5 Εφαρμογές στην Αρχιτεκτονική	38
5.5.1 3D Τυπωμένα Κτήρια Κατοικιών	39
5.6 Εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης για την δημιουργία καταναλωτικών αντικειμένων	41
5.7 Εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων	43
5.7.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα 3D εκτύπωσης	44
5.7.2 Παραδείγματα εφαρμογών τρισδιάστατης παραγωγής τροφίμων.....	45
Κεφάλαιο 6 . Μελλοντικές τάσεις και εφαρμογές	49
6.1 Μελλοντικά υλικά	49
6.2 Μελλοντικές διεργασίες.....	50
6.3 Τάσεις στο σχεδιασμό και παραγωγή νέων προϊόντων	51
6.3.1 Καινοτόμος σχεδιασμός	51
6.3.2 Καινοτόμες διαδικασίες: Από τον έλεγχο του σχήματος ως την ολοκληρωμένη κατασκευή	52
6.3.3 Καινοτόμες διεργασίες: Παραγωγή σε μικρο- και νάνο-κλίμακες.....	52
6.4 Μελλοντικές εφαρμογές	53
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα Εργασίας	56
Βιβλιογραφία	58

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Τρισδιάστατη Εκτύπωση Υποδήματος [4].....	12
Σχήμα 2. Ο Charles Hull, ιδρυτής της εταιρείας 3D Systems και δημιουργός του πρώτου τρισδιάστατου εκτυπωτή	13
Σχήμα 3. Διάφορα θερμοπλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην 3D εκτύπωση.....	20
Σχήμα 4. 3D Εκτυπωμένα αιμοφόρα αγγεία [21]	26
Σχήμα 5. 3D Εκτυπωμένο αυτί [22]	26
Σχήμα 6. 3D εκτυπωμένο καλούπι	27
Σχήμα 7. Διαφανής ρητίνη	28
Σχήμα 8. 3D εκτυπωμένος πύραυλος (από 3dprint.com).....	31
Σχήμα 9. Airbus Trent XWB (από www.aircraft.airbus.com)	32
Σχήμα 10. Koenigsegg One:1	34
Σχήμα 11. Το λογότυπο της Audi.....	34
Σχήμα 12. Το λογότυπο της Honda	35
Σχήμα 13. Williams F1	36
Σχήμα 14. Ελαστικό Hankook.....	37
Σχήμα 15. Το Protohouse 2.0	40
Σχήμα 16. Η ιδέα του Berok Khoshnevis για την κατασκευή 3D κτηρίων (από 3dprint.com) 41	
Σχήμα 17. 3D εκτυπωμένο δαχτυλίδι από την Blueberries του Zbynek Krulich (από pinterest.com)	42
Σχήμα 18. Τρισδιάστατο εκτυπωμένο φόρεμα της Iris van Herpen	43
Σχήμα 19. Αστροναύτες στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό (από space.com).....	46
Σχήμα 20. 3D παραγωγή κρέατος χωρίς την ανάγκη σφαγής ζώων.....	46
Σχήμα 21. Το εστιατόριο Melisse στη Santa Monica	48
Σχήμα 22. Τρισδιάστατα εκτυπωμένη καρδιά (από 3dprint.com)	54

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας μας έχει φέρει στην ανάπτυξη τεχνολογιών που οι άνθρωποι τις προηγούμενες δεκαετίες δεν πίστευαν ότι θα φτάσουν μέχρι εκεί. Μία από τις τεχνολογίες αυτές είναι και η Τρισδιάστατη Εκτύπωση που μας επιτρέπει την εκτύπωση αντικειμένων και στις τρεις διαστάσεις. Η τεχνολογία αυτή έχει τις ρίζες της στην παραδοσιακή εκτύπωση και δημιουργήθηκε μέσα από την ανάγκη για παραγωγή πολύπλοκων ενιαίων αντικειμένων χωρίς αυτά να αποτελούνται από μικρότερα σύνολα προς συναρμολόγηση ή χωρίς να απαιτείται λεπτομερής και κουραστική εργασία για την εξασφάλιση των λεπτομερειών τους [1]. Διατίθεται ευρύτερα πλέον και συνεχώς αναπτύσσεται με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους παραγωγής των εκτυπώσεων. Αυτό έχει ως συνέπεια όλο και περισσότερος κόσμος να πραγματοποιεί τρισδιάστατες εκτυπώσεις που έχουν σχέση με διάφορες εφαρμογές σε τομείς όπως η υγεία, η δημιουργία τεχνητών οργάνων [2], η βιομηχανία τροφίμων κ.α [3].



Σχήμα 1. Τρισδιάστατη Εκτύπωση Υποδήματος [4]

1.1 Ορισμός Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Η Τεχνολογία Τρισδιάστατης Εκτύπωσης (3D Printing) είναι μία κατασκευαστική μέθοδος μέσω της οποίας τα παραγόμενα προϊόντα προκύπτουν από τιγμένα υλικά αποτιθέμενα σε στρώσεις. Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι πλαστικά, μέταλλα, κεραμικά, σκόνες, υγρά ή ακόμη και οργανικής προελεύσεως όπως ζώντα κύτταρα και τρόφιμα. Η τεχνολογία εκτύπωσης σε τρεις διαστάσεις ονομάζεται επίσης και *Παρασκευή Προσθέτων (Additive Manufacturing-AM)*, *Ταχεία Πρωτοτυποποίηση (Rapid Prototyping-RP)* ή *Τεχνολογία Στερεάς Ελεύθερης Μορφής (Solid Free-Form Technology-SFF)* [5],[6].

Παρόλο που η διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης μοιάζει κάπως με την παραδοσιακή εκτύπωση με έγχυση μελάνης, ο τρόπος που λειτουργούν οι 3D εκτυπωτές διαφέρει με πάνω από 25 διαφορετικές τεχνικές να υπάρχουν πλέον. Οι τεχνικές αυτές διαφέρουν στα υλικά που χρησιμοποιούνται, στον χρόνο εκτύπωσης, στην ανάλυση του παραγόμενου τεμαχίου κ.α. Δηλαδή αντί να υπάρχει έγχυση σταγόνων η μία πάνω στην άλλη, άλλο υλικό εγχύεται με τον ίδιο τρόπο. Τα τεμάχια που προκύπτουν μπορεί να παρουσιάσουν πολύ ιδιαίτερη και πολύπλοκη γεωμετρία [7]. Αρχικά, σχεδιάζεται το αντικείμενο σε λογισμικό τύπου CAD, με σκοπό αργότερα η κεφαλή να ακολουθήσει την κατάλληλη πορεία στον χυ άξονα ώστε να εκτυπωθεί το επιθυμητό αντικείμενο. Έτσι, αντικείμενα που προορίζονταν για δισδιάστατη εκτύπωση αποκτούν πλέον τρεις διαστάσεις δίδοντας μια νέα, ψηφιοποιημένη και αναλυτικότερη απεικόνιση [6].

1.2 Ιστορικά Στοιχεία

Η ιδέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης ξεκίνησε το 1981 στην Ιαπωνία, όταν ο Dr Hideo Kodama αναφέρθηκε για πρώτη φορά σε μια μέθοδο Ταχείας Πρωτοτυποποίησης (Rapid Prototyping-RP) χρησιμοποιώντας φωτοπολυμερή υλικά. Οι βάσεις όμως για την εξέλιξη αυτής της ιδέας μπήκαν όταν ο Charles Hull κατοχύρωσε την πατέντα για την πρώτη συσκευή RP στηριζόμενος στην ιδέα του “πατέρα” της 3D εκτύπωσης, του Hideo Kodama. Ουσιαστικά επινόησε την τεχνική της στερεολιθογραφίας με σκοπό την εκτύπωση τρισδιάστατων αντικειμένων με την χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας. Η πρώτη συσκευή στερεολιθογραφίας (Stereo Lithography Apparatus-SLA) κατασκευάστηκε το 1983, με την παρουσίαση του πρώτου συστήματος SLA-1 στους καταναλωτές το 1986 από την εταιρεία 3D Systems του Charles Hull.



Σχήμα 2. Ο Charles Hull, ιδρυτής της εταιρείας 3D Systems και δημιουργός του πρώτου τρισδιάστατου εκτυπωτή

Από όταν κατασκευάστηκε ο πρώτος 3D εκτυπωτής, πολλές εταιρίες άρχισαν να κυκλοφορούν στην αγορά εκτυπωτές που στηρίζονταν σε διάφορες μεθόδους. Στην αρχή η χρήση τους ήταν κυρίως βιομηχανική με εξαίρεση το μοντέλο SLA-250 που κυκλοφόρησε το 1988 από την 3D Systems και ήταν για το ευρύ κοινό. Οι πρώτοι εκτυπωτές ήταν μεγάλοι σε μέγεθος αλλά και πολύ ακριβοί για αυτό κι άργησαν να φύγουν από τις πόρτες των μεγάλων βιομηχανιών. Το 1999 αποτέλεσε χρονιά σταθμό για την εξέλιξη της 3D τεχνολογίας καθώς δημιουργήθηκε το πρώτο τρισδιάστατα εκτυπωμένο όργανο. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκε μία ουροδόχος κύστη η οποία στην συνέχεια εμφυτεύθηκε με επιτυχία στον ασθενή ανοίγοντας έτσι το δρόμο για πλήθος βιολογικών και ιατρικών εφαρμογών. Το 2001 κατασκευάστηκε ο πρώτος επιτραπέζιος εκτυπωτής, ενώ το 2002 το Ινστιτούτο Αναγεννητικής Ιατρικής της Ιατρικής Σχολής του Wake Forrest University στο Σάλεμ της Βόρειας Καρολίνας σχεδίασε εκτυπωτή με τη δυνατότητα παραγωγής κυττάρων όμοιων με εκείνα των νεφρών, στοχεύοντας στην δημιουργία ολόκληρου του οργάνου στο μέλλον.

Εκτός από τον τομέα της Ιατρικής και άλλοι κλάδοι άρχισαν να χρησιμοποιούν την τρισδιάστατη εκτύπωση. Το 2004 ο Γάλλος σχεδιαστής Patrick Jouin δημιούργησε την καρέκλα Solid C2, την πρώτη τρισδιάστατα εκτυπωμένη καρέκλα. Το 2005 το Reprap Project, ένα open-source πρόγραμμα του Adrien Bowyer, διέθεσε δωρεάν οδηγίες και κατάλληλο λογισμικό για την κατασκευή ενός 3D εκτυπωτή με λειτουργία μέσω υπολογιστή. Το 2008 η εξοικείωση του μέσου χρήστη με την 3D εκτύπωση συνεχίστηκε με την διάθεση οδηγιών κατασκευής του μοντέλου Reprap Darwin, ενός εκτυπωτή που μπορεί να εκτυπώσει το 50% των μερών του.

Στα χρόνια που ακολούθησαν το κόστος συνέχισε να μειώνεται, αλλά η ανακάλυψη όλο και πιο πολλών εφαρμογών συνεχίστηκε. Το κόστος ενός εκτυπωτή οικιακής χρήσης ανέρχεται στο ποσό των 500 δολαρίων περίπου. Στον τομέα των βιολογικών εφαρμογών η εξέλιξη συνεχίστηκε, με την εκτύπωση των πρώτων τρισδιάστατων αιμοφόρων αγγείων το 2010 από την εταιρία αναγεννητικής ιατρικής Organovo. Άλλοι τομείς έκαναν κι αυτοί τα πρώτα τους βήματα στον χώρο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Πιο συγκεκριμένα στο Πανεπιστήμιο του Έξετερ στη Μεγάλη Βρετανία δημιουργήθηκε η πρώτη σοκολάτα από εκτυπωτή τύπου Inkjet και το 2011 μηχανικοί από το Πανεπιστήμιο του Σαουθάμπτον δημιούργησαν το πρώτο τρισδιάστατο εκτυπωμένο αεροσκάφος. Το 2013 με την κατασκευή του πρώτου τρισδιάστατου εκτυπωμένου όπλου με το όνομα Liberator στο Όστιν του Τέξας τέθηκαν τα πρώτα ζητήματα ηθικής περί της χρήσης της τεχνολογίας από τον σύγχρονο άνθρωπο. Το 2014 από την άλλη μεριά ο Richard Arm δημιούργησε την πρώτη καρδιά με τρισδιάστατα εκτυπωμένα μέρη.

Στην κοινωνία του σήμερα, οι 3D εκτυπωτές περιγράφονται με τον όρο Additive Manufacturing, αφού γίνεται χρήση τους για την Παρασκευή τελικών προϊόντων και όχι απλά ρεπλίκων [1],[9],[6].

1.3 Η άνοδος της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Οι λόγοι για τους οποίους η τεχνική τρισδιάστατης εκτύπωσης γνώρισε μεγάλη αποδοχή τόσο από τις βιομηχανίες τόσο και από τον μέσο καταναλωτή είναι ότι συνδυάζει την γρήγορη απόκτηση ενός αντιτύπου οποιουδήποτε σχήματος με την παράλληλη εξασφάλιση καλής ανάλυσης ανεξαρτήτως του υλικού που χρησιμοποιείται , χωρίς να χρειάζεται η δημιουργία μονομερών με μετέπειτα συναρμολόγησή τους. Ακόμη, είναι δυνατή η παραγωγή ενιαίων αντικειμένων κρατώντας χαμηλά το κόστος, με γρήγορη παράδοση και μεγάλες ποσότητες. Η χρήση εργαλείων δεν είναι αναγκαία και οι διάφορες διαδικασίες παραγωγής αυτοματοποιούνται και μηχανοποιούνται. Αντίθετα όμως με τις παραδοσιακές γραμμές παραγωγής, η τρισδιάστατη εκτύπωση υποστηρίζει αλλαγές στο παραγόμενο προϊόν.

Σύμφωνα με την τρισδιάστατη εκτύπωση, το υλικό προσφέρεται σε σκόνη ή σε υγρή μορφή και εναποτίθεται σε στρώσεις που τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη ώστε να σχηματιστεί το τελικό αντικείμενο. Μπορεί μάλιστα να δημιουργήσει ενιαία αντικείμενα και όχι κομμάτια αυτών που συνδέονται. Όλα αυτά, καθιστούν την 3D εκτύπωση μία σύγχρονη μέθοδο εκτύπωσης με πλήθος πλεονεκτημάτων που βρίσκει καινοτόμες εφαρμογές [7],[5],[10].

Κεφάλαιο 2. Τεχνολογία Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης που υπάρχουν για την κατασκευή αντικειμένων.

2.1 Μέθοδοι Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Υπάρχουν 3D εκτυπωτές που μπορούν να παράγουν όχι μόνο σε θερμοπλαστικά αλλά και σε σύνθετα υλικά, ρητίνες, μέταλλα, κεραμικά, τρόφιμα, πηλό, άμμο, σκυρόδεμα και ζωντανά κύτταρα. Η 3D εκτύπωση δεν είναι μια ενιαία τεχνολογία αλλά μια μεγάλη γκάμα με αρκετά διαφορετικές, αν και πιθανώς συμπληρωματικές διαδικασίες.

Οι περισσότερες τεχνολογίες 3D εκτύπωσης λειτουργούν σε έναν από τους τέσσερις βασικούς τρόπους. Πρώτον, έχουμε διεργασίες βασισμένες σε εξώθηση υλικού (material extrusion) που σχηματίζουν στρώματα υλικού εξάγοντας ένα ρευστό υλικό από ένα ακροφύσιο κεφαλής εκτύπωσης. Μετά υπάρχει ο φωτοπολυμερισμός (photopolymerization) όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιλεκτική στερεοποίηση μιας υγρής ρητίνης. Επίσης, υπάρχουν τεχνικές που δεσμεύουν τα σωματίδια μιας σκόνης (powder binding-based techniques). Και τέλος υπάρχουν προσεγγίσεις που βασίζονται σε πλαστικοποίηση (lamination-based techniques), οι οποίες συγκολλούνται μεταξύ τους με λεπτά φύλλα υλικού κατασκευής.

Το πρόβλημα που υπάρχει στην βιομηχανία της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ότι είναι γεμάτη με πάρα πολλές κατοχυρωμένες με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας διεργασίες και εμπορικές ετικέτες τεχνολογίας. Αυτό καθιστά την κατηγοριοποίησή τους δύσκολη και χρονοβόρα.

Πολλοί κατασκευαστές 3D εκτυπωτών χρησιμοποιούν διαφορετικά ονόματα για τις ίδιες διαδικασίες παραγωγής προσθέτων. Αυτό οδήγησε τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) και την Αμερικανική Εταιρεία Δοκιμών και Υλικών (ASTM) τα τελευταία πέντε χρόνια να έχουν αναπτύξει διάφορα πρότυπα. Το τελευταίο από αυτά εισήχθη τον Δεκέμβριο του 2015 με το όνομα ISO / ASTM 52900 και ορίζει επτά κατηγορίες διαδικασιών παραγωγής προσθέτων, οι οποίες επεκτείνονται στις τέσσερις γενικές μεθόδους με αναφέρθηκαν προηγουμένως. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:[8]

- **Εξώθηση Υλικού (Material Extrusion):** είναι η πιο κοινή τεχνολογία 3D εκτύπωσης. Πολλά διαφορετικά οικοδομικά υλικά συμπεριλαμβανομένου του σκυροδέματος, της κεραμικής, της σοκολάτας και ακόμη και των μετάλλων μπορούν να εκτυπωθούν σε 3D χρησιμοποιώντας εξώθηση υλικών. Ένα ακροφύσιο εξωθεί ένα ρευστό υλικό για τη δημιουργία διαδοχικών στρωμάτων αντικειμένων

- **Φωτοπολυμερισμός σε δοχείο (VAT Photopolymerization):** ένα λέιζερ ή άλλη πηγή φωτός στερεοποιεί διαδοχικά στρώματα αντικειμένων στην επιφάνεια ή τη βάση ενός δοχείου υγρού φωτοπολυμερούς.
- **Εκτόξευση Υλικού (Material Jetting):** μία κεφαλή εκτύπωσης επιθέτει επιλεκτικά σταγονίδια από υλικό κατασκευής υγρού που έχει σκληρυνθεί ή στερεοποιηθεί με τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας ή θερμότητας ή που στερεοποιείται κατά την επαφή. Η εκτόξευση υλικού συνήθως εξάγει δομές υποστήριξης σε ένα υλικό που μοιάζει με gel, το οποίο αφαιρείται μετά την εκτύπωση είτε με το χέρι ή με νερό ή με λουτρό διαλύματος. Όταν αφαιρεθούν όλες οι υποστηρίξεις, δεν απαιτείται κανονικά καμία περαιτέρω επεξεργασία. Αυτό καθιστά τις τεχνολογίες εκτόξευσης υλικών λιγότερο ακατάστατες για τον χρήστη από οποιαδήποτε μορφή φωτοπολυμερισμού δοχείου.
- **Δέσμευση Συνδετικού Υλικού (Binder Jetting):** μία κεφαλή εκτύπωσης ψεκάζει επιλεκτικά ένα συνδετικό υλικό σε διαδοχικά στρώματα σκόνης. Όταν έχει εκτυπωθεί ένα αντικείμενο πλήρως, παραμένει εγκλεισμένο σε ένα μπλοκ χαλαρής σκόνης, από το οποίο πρέπει να αφαιρεθεί με το χέρι. Στη συνέχεια πρέπει να μεταφερθεί σε “θάλαμο απομάκρυνσης” όπου ψεκάζεται με πεπιεσμένο αέρα μέχρι να είναι εντελώς καθαρό.
- **Σύντηξη υποστρώματος σκόνης (Powder Bed Fusion):** ένα λέιζερ ή άλλη πηγή θερμότητας διασυνδέει επιλεκτικά διαδοχικά στρώματα σκόνης. Η δέσμευση συνδετικού υλικού είναι τεχνολογία βασισμένη σε σκόνη με πολλές εφαρμογές αλλά έχει και τους περιορισμούς της. Εξίσου σημαντικό, ακόμη και όταν τα αντικείμενα θεραπεύονται και εγχέονται μετά την εκτύπωση, είναι αδύνατο να κατασκευαστούν προϊόντα που είναι 100 τοις εκατό στερεά. Όταν υπάρχουν τέτοιες απαιτήσεις είναι απαραίτητο να στραφούμε σε μια άλλη διαδικασία 3D εκτύπωσης που ονομάζεται σύντηξη υποστρώματος σκόνης. Αυτή είναι παρόμοια με την εκτόξευση συνδετικού υλικού, αλλά χρησιμοποιεί την επιλεκτική εφαρμογή της θερμότητας για να συγκολλήσει γειτονικούς κόκκους σκόνης.
- **Κατευθυνόμενη Ενεργειακή Εναπόθεση (Directed Energy Deposition):** ένα λέιζερ ή άλλη πηγή θερμότητας διασυνδέει ένα κονιοποιημένο οικοδομικό υλικό καθώς κατατίθεται. Ακόμη ένα άλλο μέσο δημιουργίας τελικών αντικειμένων τελικής χρήσης από υλικά σε σκόνη είναι η κατευθυνόμενη ενεργειακή εναπόθεση. Εδώ ένα ακροφύσιο ελεγχόμενης κίνησης κατευθύνει τη μεταλλική σκόνη σε μια δέσμη λέιζερ υψηλής ισχύος για εναπόθεση ως τηγμένο δομικό υλικό, με την πλατφόρμα κατασκευής μερικές φορές επίσης να ελέγχεται με κίνηση σε πολλαπλούς άξονες. Σε αντίθεση με όλες τις άλλες τεχνολογίες 3D εκτύπωσης, η κατευθυνόμενη ενεργειακή εναπόθεση δεν περιορίζεται στην κατασκευή αντικειμένων από την εξέλιξη διαδοχικών επίπεδων στρωμάτων.

- **Ελάσματα σε Φύλλα (Sheet Lamination):** οι πιο πολλές διαδικασίες 3D εκτύπωσης διεγείρουν ημι-τηγμένα υλικά, στερεοποιούν φωτοπολυμερή ή ενώνουν σκόνες. Υπάρχει όμως μια τελική και αρκετά διαφορετική κατηγορία γενικής τεχνολογίας που ονομάζεται «ελάσματα σε φύλλα» και συγκολλάει φύλλα χαρτιού, πλαστικού ή μεταλλικού φύλλου. Η δημιουργία ελασμάτων σε φύλλα μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας μια ποικιλία μηχανισμών, αλλά όλα προωθούν ένα φύλλο δομικού υλικού σε μια πλατφόρμα κατασκευής. Αυτό το υλικό μπορεί να έχει συγκολλητική επένδυση ή κατά τη διαδικασία παραγωγής μπορεί να έχει εφαρμοστεί κόλλα. Ένα λείζερ ή λεπίδα χρησιμοποιείται για να κόψει το περίγραμμα ενός στρώματος αντικειμένου στο φύλλο και η πλατφόρμα κατασκευής χαμηλώνει λίγο. Στη συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να δημιουργηθούν όλα τα επίπεδα αντικειμένων.

Κεφάλαιο 3. Παράμετροι Τρισδιάστατης Εκτύπωσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στους παραμέτρους της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Οι παράμετροι αυτοί είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται, η ανάλυση εκτύπωσης και η πυκνότητα εκτύπωσης.

3.1 Υλικά

Τα θερμοπλαστικά είναι μια μεγάλη κατηγορία υλικών που χρησιμοποιούνται κατά την τρισδιάστατη εκτύπωση με εξώθηση υλικού. Τα πιο γνωστά θερμοπλαστικά είναι το PLA (Poly Lactic Acid) και το ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene). Το PLA είναι φυτικής προέλευσης, οικολογικού χαρακτήρα και βιοδιασπάται. Το χαρακτηρίζει σκληρότητα, ανθεκτικότητα και σχετική ακαμψία η οποία αρχίζει και εξαφανίζεται περίπου στους 65 °C. Μπορούμε να το βρούμε σε διάφορα χρώματα όπως κόκκινο, κίτρινο, πράσινο, πορτοκαλί, γκρι, μπλε, λευκό, διάφανο και μαύρο. Επεξεργάζεται τελικά μηχανικά με τρυπάνι τόρνο ή απλό γυαλόχαρτο. Χρησιμοποιείται πάρα πολύ στην τρισδιάστατη εκτύπωση επειδή δεν απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες για την χρήση του και είναι κατάλληλο για πλήθος εφαρμογών. Από την άλλη μεριά και το ABS έχει μεγάλη χρήση με μία από τις πιο γνωστές να είναι η κατασκευή LEGO. Η σύνθεσή του βασίζεται σε παράγωγα πετρελαίου και αυτό έχει ως συνέπεια να είναι λιγότερο οικολογικό από το PLA. Σε σχέση με αυτό, έχει παρόμοια ανθεκτικότητα και σκληρότητα αλλά λίγο μεγαλύτερη ευκαμψία, ενώ αρχίζει να μαλακώνει στους 105 °C. Αυτό το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. Η τελική του επεξεργασία γίνεται με τα ίδια μέσα όπως και για το PLA καθώς επίσης και το τελικό χρώμα που μπορεί να εμφανίζει.

Άλλα θερμοπλαστικά δομικά υλικά είναι το νάιλον και άλλα πολυαμίδια, το ASA (Acrylonitrile styrene acrylate), πολυανθρακίτες (polycarbonates-PC), το PETG (polyethylene terephthalate glycol-modified), το πολυστυρόλιο υψηλών αντοχών (high impact polystyrene-HIPS) και σύνθετα ABS-πολυανθρακικά. Επίσης υπάρχει το ABSi, το οποίο είναι διαφανές και μπορεί να αποστειρωθεί με ακτινοβολία γάμα ή οξείδιο του αιθυλενίου, επιτρέποντας έτσι την εκτύπωση τρισδιάστατων πλαστικών εξαρτημάτων για χρήση στη βιομηχανία τροφίμων ή για ιατρικές εφαρμογές. Ένα θερμοπλαστικό που ονομάζεται PC-ISO μπορεί κι αυτό να αποστειρωθεί προσφέροντας καλή βιοσυμβατότητα για την κατασκευή 3D εκτυπωμένων ιατρικών συσκευών. Άλλα πλαστικά με μεγάλη χρήση είναι το TPE, η πολυουρεθάνη (TPU ή TPE-U), το δημοφιλές Ninjaflex και το Wolfbend.

Τα θερμοπλαστικά αυτά συχνά συνδυάζονται και με άλλα υλικά όπως το ξύλο και το μέταλλο σχηματίζοντας σύνθετα υλικά τρισδιάστατης εκτύπωσης. Ένα από τα πρώτα σύνθετα με ξύλο ήταν το Laywood από τον Kai Parthy, που έμοιαζε στην εκτυπώσιμη μορφή του με ξύλο. Όσον αφορά τη συνδυαστική χρήση με μέταλλο το πρώτο υλικό ήταν το bronzeFill, που αποτελούνταν από PLA, PHA και σκόνη

μετάλλου. Το αποτέλεσμα ήταν ένα υλικό τρεις φορές βαρύτερο με μια ματ τελική όψη που με τρίψιμο και γυάλισμα μετατρέπεται σε λαμπερή. Λόγω της ανάγκης για ενισχυμένες ηλεκτρικές και αγώγιμες ιδιότητες, διάφορα άλλα σύνθετα υλικά με ανθρακονήματα ή νανοσωλήνες άνθρακα ή φύλλα γραφενίου εμφανίστηκαν αργότερα



Σχήμα 3. Διάφορα θερμοπλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην 3D εκτύπωση

Υλικά που χρησιμοποιούνται στις τεχνικές εκτύπωσης

- Στην εκτύπωση με εξώθηση εκτός από τα θερμοπλαστικά χρησιμοποιούνται και κάποια μέταλλα. Στην περίπτωση αυτή η διαδικασία γίνεται πιο περίπλοκη και θα χρειαστούν υψηλότερες θερμοκρασίες. Το μέταλλο μπορεί να είναι σε τιγμένη μορφή σε μορφή σταγονιδίων ή ακόμη και πλάσματος. Το τσιμέντο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο, βρίσκοντας εφαρμογή στις κατασκευές κτιρίων μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης. Με το ίδιο σκεφτικό εντάσσονται και τα κεραμικά και ο πυλός. Από τις πιο παράξενες κατηγορίες υλικών που χρησιμοποιούνται στην 3D εκτύπωση αποτελούν υλικά όπως σοκολάτες, μίγμα κέικ και παγωτά.
- Υπάρχουν και άλλες τεχνικές 3D εκτύπωσης που εμφανίζουν χρήση διαφορετικών υλικών, εκτός από την τεχνική της εξώθησης. Στην Στερεολιθογραφία (SLA) για παράδειγμα χρησιμοποιούνται καθαρές ρητίνες, καουτσούκ πλαστικά, πολλά υποκατάστατα του ABS και άλλων θερμοπλαστικών, πλαστικά επιβραδυντικά φλόγας και ειδικά φωτοπολυμερή για οδοντιατρική μοντελοποίηση και σχεδιασμό κοσμημάτων. Διάφορα κεραμικά προστίθενται στα υλικά που έχουν ως σκοπό την δημιουργία συνθέτων.

- Κατά την μέθοδο εκτύπωσης με εκτόξευση υλικού, το υλικό έχει την μορφή μιας ζελατινώδους μάζας. Η μάζα αυτή αποτελείται από ενώσεις που προσομοιώνουν το ABS, από κεριά, από πολυπροπυλένιο και καουτσούκ, ή πολλά διαφορετικά υλικά στην ίδια εκτύπωση. Άμα προσθέσουμε διαφορετικό μελάνι στο μίγμα, τότε θα έχουμε διαφορετικούς χρωματισμούς στο υλικό. Αρκετές φορές, χρησιμοποιούνται και διαφανή ακρυλικά πολυμερή με σκοπό τη δημιουργία υάλων.
- Στην τεχνική Δέσμευσης Συνδετικού Υλικού, το υλικό εμφανίζεται σε μορφή σκόνης. Η προέλευσή της μπορεί να είναι γύψινη, πολυμερική ή κέρινη. Επίσης, πολλές φορές χρησιμοποιείται η άμμος, υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή αντικειμένων αποτελούμενων και από μέταλλα όπως σίδηρο, χαλκό, ορείχαλκο, χάλυβα, αλουμίνιο και χρυσό. Αμιγώς μεταλλικές σκόνες επίσης χρησιμοποιούνται, από μέταλλα όπως ο σίδηρος, το νικέλιο, το κοβάλτιο, το ανοξείδωτο ατσάλι και το αλουμίνιο. Υπάρχουν βέβαια, και τα κεραμικά υλικά με εφαρμογή τη διακόσμηση εσωτερικών χώρων και τη σύνθεση βάζων ή αντικειμένων αποθήκευσης. Τέλος, ανθρακική υάλινη άσβεστος χρησιμοποιείται προς δημιουργία διάφορων υάλινων αντικειμένων.
- Η μέθοδος Σύντηξης Υποστρώματος Σκόνης λειτουργεί όπως η προηγούμενη, άρα τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι παρόμοια. Οι κόκκοι του υλικού πρέπει να είναι όσο πιο ομοιόμορφοι και υψηλής ποιότητας γίνεται. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται εδώ είναι η δημιουργία προϊόντος από δύο υλικά. Σε εξειδικευμένες παραλλαγές της τεχνικής χρησιμοποιούνται τιτάνιο και ενώσεις χρωμιούχου κοβαλτίου ή πλαστικές σκόνες.
- Στην τεχνική της κατευθυνόμενης ενεργειακής εναπόθεσης, ένας μεγάλος αριθμός υλικών μπορεί να εκτυπωθεί συγκαταλέγοντας ανοξείδωτο χάλυβα, χαλκό, νικέλιο, κοβάλτιο, αλουμίνιο και τιτάνιο. Η διαφορά με την προηγούμενη μέθοδο, είναι ότι η μεταλλική σκόνη που τροφοδοτείται στην κεφαλή εκτύπωσης μπορεί να αλλάζει συνέχεια κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης. Άρα, η κατευθυνόμενη απόθεση ενέργειας έχει το πλεονέκτημα να κατασκευάζει αντικείμενα με ιδιότητες που δεν μπορούμε να τις λάβουμε με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής.
- Η τεχνική των ελασμάτων σε φύλλα λειτουργεί με διαφορετική γεωμετρία υλικού, κολλώντας φύλλα από χαρτί, μέταλλο ή πλαστικό μεταξύ τους [10],[11],[12],[13].

Τον τελευταίο καιρό νέα υλικά συνεχώς αναπτύσσονται και αρχίζουν να χρησιμοποιούνται. Αυτά τα υλικά χωρίζονται σε: έξυπνα υλικά, κεραμικά υλικά, ηλεκτρονικά υλικά, βιοϋλικά και σύνθετα υλικά.

3.2 Ανάλυση Εκτύπωσης

Εκτός από τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά την τρισδιάστατη εκτύπωση, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι και η ανάλυση του αντικειμένου που υλοποιείται. Η ανάλυση έχει σχέση με το πάχος των επαναλαμβανόμενων στρώσεων υλικού που πραγματοποιούνται για να υλοποιηθεί το τελικό προϊόν. Όσο πιο πολλές είναι οι στρώσεις και όσο πιο ομοιόμορφα εμπλέκονται μεταξύ τους, τόσο υψηλότερη η τελική ανάλυση. Οι διαφορετικές επιλογές ανάλυσης σχετίζονται με το υλικό που έχει επιλεγεί για την επιστροφή αλλά και με τη μέθοδο που ακολουθείται.

Συνεπώς, για την τεχνική με εξώθηση υλικού η ανάλυση μπορεί να είναι κανονική με πάχος 0,3 χιλ για κάθε στρώση, μεσαία πάχους 0,2 χιλ ανά στρώση και υψηλή με πάχος 0,1 χιλ. Το αποτέλεσμα στην κανονική ανάλυση είναι το αντικείμενο να είναι ανθεκτικό και υψηλής αντοχής αλλά με οπτικά διακριτά επίπεδα. Από την άλλη, η εκτύπωση είναι οικονομικότερη και ταχύτερη, οπότε προτιμάται όταν η εμφάνιση του εκτυπωμένου τεμαχίου είναι δευτερευούσης σημασίας. Με τη μεσαία ανάλυση, η ταχύτητα εκτύπωσης, η οικονομία εκτύπωσης και η εικόνα του τεμαχίου βρίσκονται σε αρκετά ικανοποιητικά επίπεδα. Στη μέγιστη η όψη και αφή του αντικειμένου είναι εξαιρετική αλλά αυτό οδηγεί σε ζημιά στο κόστος και στην ταχύτητα εκτύπωσης. Στην τεχνική της Στερεολιθογραφίας η υψηλή ανάλυση ορίζεται στα 0,05 χιλ, ενώ η μέγιστη στα 0,0025 χιλ [10],[12].

3.3 Πυκνότητα Εκτύπωσης

Ένας ακόμη παράγοντας που διαφέρει ανά εκτύπωση είναι η πυκνότητα του τελικού τεμαχίου. Η πυκνότητα είναι το ποσοστό % της πλήρωσης του τεμαχίου με υλικό, δηλαδή το πόσο άδειες ή γεμάτες με υλικό είναι οι κλειστές δομές της εκτύπωσης. Καθώς αυξάνεται το ποσοστό αυτό, τόσο πιο πολύ υλικό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την εκτύπωση και τόσο πιο συμπαγές θα είναι το εκτυπωμένο τεμάχιο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του βάρους του αντικειμένου. Ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται, υπάρχει η ανάγκη για πιο δυνατά υλικά με μηχανική αντοχή άρα και με μεγαλύτερο ποσοστό πύκνωσης. Απεναντίας, αν η αντοχή στην καταπόνηση είναι δευτερεύουσας σημασίας ή αν θέλουμε η παραγωγή του αντικειμένου να είναι πιο οικονομική, τότε η ποσότητα πύκνωσης που θα βάλουμε θα είναι χαμηλότερη [10].

Κεφάλαιο 4. Συμβατικές μέθοδοι παραγωγής τρισδιάστατων αντικειμένων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής τρισδιάστατων αντικειμένων.

4.1 Συμβατικές μέθοδοι παραγωγής

Οι συμβατικές μέθοδοι παραγωγής είναι οι εξής:

- Χύτευση με έγχυση
- Μηχανική κατεργασία
- Μορφοποίηση
- Συναρμολόγηση

4.1.1 Χύτευση με έγχυση

Η χύτευση με έγχυση πολυμερικών τηγμάτων είναι μία μέθοδος κατασκευής αντικειμένων που έχει μεγάλη απήχηση στη βιομηχανία πολυμερών. Εκτός από πλαστικό έχουμε χρήση και μεταλλικών αντικειμένων. Στην χύτευση με έγχυση το υλικό κατασκευής θερμαίνεται, μαλακώνει και εγχύεται σε καλούπι όπου σταδιακά σκληραίνει λόγω πτώσης θερμοκρασίας και λαμβάνει το σχήμα του καλουπιού που αρχικά τοποθετήθηκε.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την κατασκευή πλαστικών τεμαχίων, από συνδετήρες μέχρι προφυλακτήρες αυτοκινήτων και γενικά την επιλέγουμε όταν η επιφάνεια του παραγόμενου αντικειμένου πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας. Είναι μια εύκολη, ευέλικτη και οικονομική διεργασία και μία από τις πιο σημαντικές διεργασίες μορφοποίησης πλαστικών που υπάρχουν. Μειονέκτημά της είναι το υψηλό κόστος εκκίνησης παραγωγής με αποτέλεσμα να μην είναι συμφέρουσα για μικρές σειρές [14],[15],[16].

4.1.2 Μηχανική κατεργασία

Η μηχανική κατεργασία είναι μια διαδικασία αφαίρεσης υλικού για τη δημιουργία τεμαχίων από διάφορα υλικά. Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι σύνθετα ή μεταλλικά όπως ο χάλυβας και ο χυτοσίδηρος και η προκύπτουσα επιφάνεια είναι είτε με καμπύλες, εσοχές ή αυλάκια είτε επίπεδη. Η διαδικασία εμπεριέχει τη σύσφιξη του υλικού μέσα στο μηχάνημα, την αφαίρεσή του με άλλο εργαλείο και επίσης το φινίρισμα του υλικού και το φινίρισμα αν θέλουμε πολύ καλή επιφάνεια. Αναλόγως με την τελική εφαρμογή επιλέγεται και το κατάλληλο υλικό. Το μειονέκτημα που υπάρχει είναι ότι δύσκολα κατασκευάζονται υποκοπές ή εσωτερικά χαρακτηριστικά [10],[17].

4.1.3 Πλαστική μορφοποίηση

Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι για τον σχηματισμό πλαστικών. Αυτοί είναι: διαμόρφωση μέσω θέρμανσης, κενού ή πίεσης. Υπάρχουν ξεχωριστά χαρακτηριστικά για κάθε μέθοδο, αλλά η βασική μεθοδολογία εμπεριέχει τη θέρμανση ενός φύλλου από πλαστικό έτσι ώστε αυτό να μαλακώσει και να καλύψει την επιφάνεια ενός καλουπιού. Τα πιο πολλά θερμοπλαστικά μπορούν εύκολα να πάρουν τη μορφή ενός φύλλου. Σε σύγκριση με την χύτευση με έγχυση έχει μικρότερο κόστος εργαλείων, ειδικά όσον αφορά μεγαλύτερα σε μέγεθος αντικείμενα με σχετικά πιο απλή γεωμετρία. Το σημαντικότερο μειονέκτημα της πλαστικής μορφοποίησης είναι η ανομοιομορφία στο πάχος των τοιχωμάτων των αντικειμένων που κατασκευάζονται [18],[19].

4.1.4 Συναρμολότητα

Η ένωση (κυρίως πλαστικών) αφορά τη συγκόλληση ημιτελών μονομερών για τον σχηματισμό ενός ενιαίου αντικειμένου. Κάποιες από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους σύνδεσης των πλαστικών μεταξύ τους είναι η συγκόλληση διαλυτών, η συγκόλληση με δόνηση και η επαγωγική συγκόλληση. Ένας άλλος τρόπος συγκόλλησης των πλαστικών εξαρτημάτων είναι με απλή μηχανική στερέωση. Η συγκόλληση διαλυτών χρησιμοποιείται παραδοσιακά μόνο για τη σύνδεση θερμοπλαστικών. Η σύνδεση των πλαστικών περιλαμβάνει την επικάλυψη των πλαστικών με ένα διαλύτη και τη σύσφιξή τους. Ο διαλύτης μαλακώνει τα πλαστικά και όταν εξατμίζεται, τα πλαστικά συγκολλούνται μεταξύ τους. Πλαστικά όπως το πολυπροπυλένιο που είναι δύσκολο να συγκολληθούν συνήθως συνδέονται με επαγωγική συγκόλληση. Η συγκόλληση με δόνηση είναι αποτελεσματική αλλά συνήθως χρησιμοποιείται όταν οι άλλες μέθοδοι σύνδεσης δεν είναι πρακτικές. Η συγκόλληση με δόνηση περιλαμβάνει τη σύνδεση δύο πλαστικών και τη δόνηση ενός από αυτά. Με την δόνηση δημιουργούνται τριβές οι οποίες θερμαίνουν τα πλαστικά και έτσι συγκολλούνται. Για την υλοποίηση της επαγωγικής συγκόλλησης, τα πλαστικά τοποθετούνται γύρω από ένα μεταλλικό αντικείμενο και διέρχονται από ένα μαγνητικό πεδίο, γεγονός που προκαλεί τη θερμότητα και τη συγκόλληση των πλαστικών. Η μηχανική στερέωση χρησιμοποιείται όταν δεν απαιτείται συγκόλληση ακριβείας και είναι ο απλούστερος τρόπος σύνδεσης πλαστικών. Επίσης είναι καταλληλότερη για την ένωση ισχυρότερων πλαστικών [20].

Κεφάλαιο 5. Εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε τομείς όπως η ιατρική, η αεροναυπηγική, η αυτοκινητοβιομηχανία κ.α.

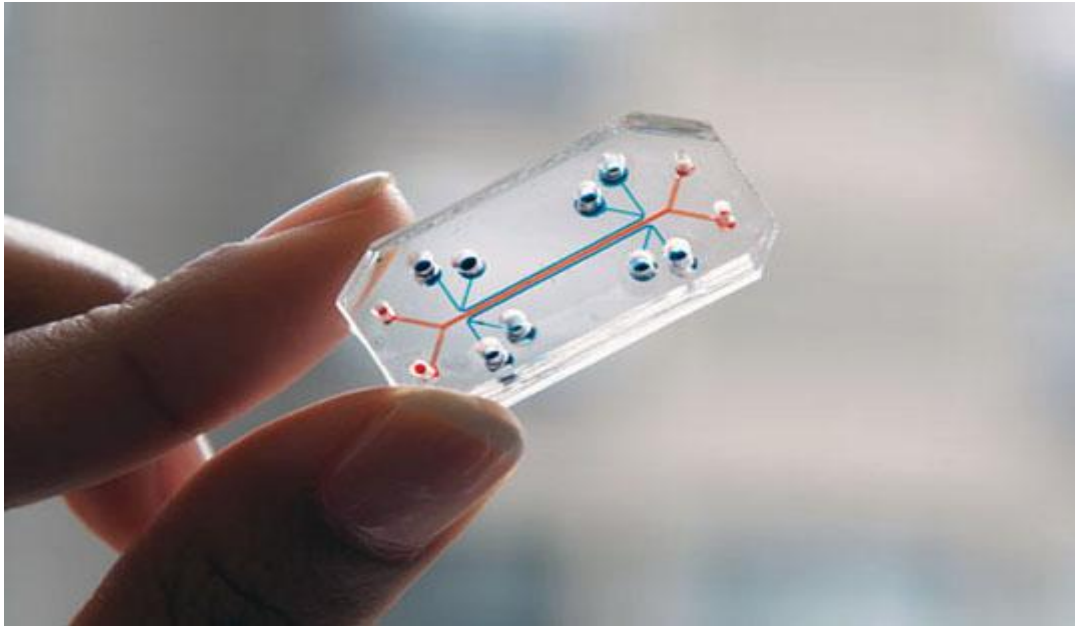
5.1 Εφαρμογές στην Ιατρική

5.1.1 Βιοεκτύπωση ιστών και οργάνων

Κατά την διάρκεια της ζωής ενός ανθρώπου, είναι πιθανό να παρουσιαστούν προβλήματα στα ζωτικά του όργανα. Αυτό συμβαίνει λόγω γήρανσης, ασθενειών, ατυχημάτων και γενετικών ανωμαλιών. Όταν ένα όργανο σταματήσει να λειτουργεί σωστά, η θεραπεία που προτείνεται είναι η μεταμόσχευση οργάνων από ζωντανούς ή νεκρούς δότες. Εντούτοις, υπάρχει μια χρόνια έλλειψη ανθρώπινων οργάνων για μεταμόσχευση. Ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα είναι ότι ο δότης πρέπει να είναι συμβατός, κάτι που είναι αρκετά δύσκολο. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να λυθεί με τη χρήση κυττάρων που λαμβάνονται από το σώμα του ίδιου του ασθενή για μεταμόσχευση οργάνου κατασκευάζοντας ένα όργανο από την αρχή. Αυτό θα μείωνε τον κίνδυνο απόρριψης του ιστού όπως επίσης και την ανάγκη λήψης διαβίου ανοσοκατασταλτικών. Οι θεραπείες που βασίζονται στην μηχανική ιστών και στην αναγεννητική ιατρική επιδιώκονται ως πιθανή λύση για την έλλειψη δότη οργάνων.

Παρά το γεγονός ότι η βιοεκτύπωση των ιστών και των οργάνων είναι ακόμα σε αρχικό στάδιο, πολλές μελέτες έχουν αποδείξει ότι είναι μία εφαρμόσιμη ιδέα. Ερευνητές σε όλο τον κόσμο έχουν χρησιμοποιήσει 3D εκτυπωτές για να δημιουργήσουν διάφορα όργανα κ.α. Ο Cui και οι συνεργάτες του εφάρμοσαν τεχνολογία εκτύπωσης 3D inkjet για την επισκευή ανθρώπινου αρθρικού χόνδρου. Ο Wang και η ομάδα του χρησιμοποίησε την τεχνολογία 3D βιοεκτύπωσης για την τοποθέτηση διαφόρων κυττάρων για να παράγει ένα τεχνητό ήπαρ. Οι γιατροί στο Πανεπιστήμιο του Michigan δημοσίευσαν μια μελέτη αναφέροντας ότι με τη χρήση ενός 3D εκτυπωτή και εικόνων κατασκεύασαν έναν ακριβή, βιολογικώς απορροφητικό τραχειακό νάρθηκα που εμφυτεύτηκε χειρουργικά σε ένα μωρό. Το μωρό ανάρρωσε και ο νάρθηκας θα απορροφηθεί πλήρως μέσα σε τρία χρόνια. Άλλοι ερευνητές εργάζονται σε τεχνικές για την ανάπτυξη πλήρων ανθρώπινων οργάνων [6].

Επίσης, ερευνητές από το Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ έχουν κάνει μεγάλα βήματα στην βιοεκτύπωση αιμοφόρων αγγείων που αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την εκτύπωση ιστών με παροχή αίματος.



Σχήμα 4. 3D Εκτυπωμένα αιμοφόρα αγγεία [21]

Μια ομάδα Ολλανδών χειρουργών από το Πανεπιστημιακό Ιατρικό Κέντρο της Ουτρέχτης αντικατέστησε ολόκληρη την κορυφή του κρανίου μιας 22χρονης γυναίκας με πλαστικό εμφύτευμα. Αυτό έχει γίνει και στην Κίνα όπου ένας άνθρωπος με κατεστραμμένο κρανίο έλαβε μια εξατομικευμένη τρισδιάστατη εκτύπωση τιτανίου. Στην Σλοβακία επίσης ένας άνθρωπος με εγκεφαλική βλάβη έλαβε παρόμοια τρισδιάστατη εκτύπωση. Ο Jonathan Butcher από το Πανεπιστήμιο Cornell εκτύπωσε βαλβίδα καρδιάς που σύντομα θα δοκιμαστεί σε πρόβατα. Ο Lawrence Bonassar από το Πανεπιστήμιο Cornell χρησιμοποίησε 3D φωτογραφίες ανθρώπινων αυτιών για να φτιάξει καλούπια αυτιών, ενώ οι ερευνητές στο Princeton έχουν εκτυπώσει 3D το δικό τους αυτί από κολλαγόνο, αυτή τη φορά, με ενσωματωμένα ηλεκτρονικά εξαρτήματα για τεχνητή ακοή.



Σχήμα 5. 3D Εκτυπωμένο αυτί [22]

Η Organono ανακοίνωσε την έναρξη των δοκιμασιών για τρισδιάστατα εκτυπωμένα ηπατικά κύτταρα που μπορούν να λειτουργήσουν για περισσότερο από 40 ημέρες. Κορυφαία στελέχη της Organono και άλλοι ειδικοί της βιομηχανίας δηλώνουν ότι μέσα σε μια δεκαετία θα γίνει δυνατή η εκτύπωση συμπαγών οργάνων όπως το ήπαρ, η καρδιά και τα νεφρά. Ακόμα, ο James Yoo από την Ιατρική Σχολή του Wake Forest των ΗΠΑ έχει αναπτύξει έναν εκτυπωτή που μπορεί να εκτυπώσει το δέρμα κατ'ευθείαν στις πληγές των ασθενών με εγκαύματα. Ο εκτυπωτής σαρώνει την πληγή και στη συνέχεια δημιουργεί κατάλληλο αριθμό στρώσεων δέρματος για να γεμίσει την πληγή. Η έρευνα του Yoo χρηματοδοτήθηκε από τον αμερικανικό στρατό για να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία αυτή με σκοπό τη θεραπεία τραυματισμένων στρατιωτών [23],[24].

5.2 Εφαρμογές στην Οδοντιατρική

5.2.1 Οδοντιατρικές Ρητίνες

Οδοντιατρική Model Ρητίνη

Η Οδοντιατρική ρητίνη είναι μία ρητίνη υψηλής ακρίβειας που είναι σχεδιασμένη για μοντέλα στεφανών και γεφυρών με αφαιρούμενες μήτρες. Το αποτέλεσμα της εκτύπωσης έχει απόκλιση $\pm 35 \mu\text{m}$, από αυτό που σχεδιάστηκε, και αυτό έχει ως συνέπεια τα καλούπια να έχουν μια πολύ στενή επαφή, πράγμα επιθυμητό. Μια ομαλή και φινιρισμένη επιφάνεια με χρώμα παρόμοιο με αυτό του γύψου κάνει εύκολη την εναλλαγή από αναλογική σε ψηφιακά μοντελοποιημένη παραγωγή. Μια σε βάθος ανάλυση της παραγωγής των ρητινών με 3D εκτύπωση απέδειξε ότι η απόκλιση αυτή σε περιθώρια, μήτρες και σημεία επαφής ισχύει σε ποσοστό 80%, καθιστώντας την εφαρμογή αυτή πολύ αποτελεσματική.



Σχήμα 6. 3D εκτυπωμένο καλούπι

Οδοντιατρική LT διαφανής ρητίνη

Είναι σχεδιασμένη για μεγάλες αντοχές στη θραύση και στη φθορά και είναι ιδανική για νάρθηκες και άλλες ορθοδοντικές συσκευές.



Σχήμα 7. Διαφανής ρητίνη

Πρότυπη Γκρι Ρητίνη

Η γκρι ρητίνη έχει λείο ματ φινίρισμα που εμφανίζει τις λεπτομέρειες αρκετά καλά. Το λείο ματ φινίρισμα είναι ιδανικό για μεγάλο πλήθος οδοντιατρικών εφαρμογών συμπεριλαμβανομένων ορθοδοντικών, διαγνωστικών και εκπαιδευτικών μοντέλων. Όταν χρησιμοποιηθεί μαζί με ένα διαφανή διαχωριστή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για να κατασκευαστούν σιδεράκια.

5.2.2 3D Εκτυπωμένες Οδοντοστοιχίες

Είναι εφικτή πλέον η κατασκευή τρισδιάστατα εκτυπωμένων βάσεων οδοντοστοιχιών καθώς ο οργανισμός FDA (Αμερικανικός Οργανισμός Φαρμάκων και Τροφίμων) έδωσε άδεια για χρήση σε ανθρώπινο οργανισμό, μέσω κλινικών δοκιμών, αφού η βιοσυμβατότητα των βάσεων διατηρείται για περισσότερο από 30 μέρες. Οι οδοντοστοιχίες με ρητίνη, λοιπόν, μπορούν να κατασκευαστούν απευθείας από 3D μοντέλα και χωρίς τη βοήθεια κάποιου εκμαγείου, βοηθώντας στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας κατασκευής και στην εξοικονόμηση χρόνου [25],[26].

5.2.3 3D Εκτύπωση στη Στοματολογία και στη Γναθο-Χειρουργική

Προσομοίωση Χειρουργείου

Η εφαρμογή της 3D εκτύπωσης καθιστά δυνατή την προσομοίωση χειρουργείου με πολλή μεγάλη ακρίβεια. Τα δεδομένα παίρνονται με σάρωση αναλυτικής υπολογιστικής τομογραφίας (CT) και η δημιουργία των υλικών αντικειμένων από ψηφιακές εικόνες, γίνεται με εναπόθεση στρωμάτων σε 3D δομές. Αυτό ενδέχεται

να έχει χρήση στην εκπαίδευση, την εκμάθηση, το χειρουργικό σχεδιασμό και την προσθετική ανοικοδόμηση.

Ακόμα, μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε και στην ορθογναθική χειρουργική για την κατασκευή νάρθηκα οδηγού (3D-εκτυπωμένο μασελάκι, που είναι μοντελοποιημένο στα δόντια του ασθενή, έτσι ώστε να εφάπτεται ακριβώς) για το χειρουργό και ως πρόβλεψη διόρθωσης σκελετικών ανωμαλιών [27].

Κατασκευή προσαρμοσμένης 3D πλάκας καθαρής τιτανίας

Με την πλάκα αυτή ο ασθενής εκτός από πολύ καλό αποτέλεσμα στην εμφάνιση θα μπορεί να χρησιμοποιεί πολύ καλά την κάτω γνάθο του, καθώς σχεδιάστηκε για να μπορεί να μιμηθεί το προϋπάρχον περίγραμμα, πλάτος και ύψος του κόκκαλου, κάνοντας την αποκατάσταση ευκολότερη [27].

5.2.4 Σύνοψη των Οδοντιατρικών Εφαρμογών

Παρά την μεγάλη πρόοδο που έχει σημειώσει η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει να αντιμετωπίσει σημαντικά εμπόδια όσον αφορά την τύπωση ιστού/οργάνου, την ασφάλεια και τις ρυθμιστικές εγκρίσεις από τον αντίστοιχο φορέα. Πέρα από τις δυσκολίες, η 3D εκτύπωση προβλέπεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της ιατρικής και θα αναβαθμίσει σημαντικά την υγειονομική περίθαλψη.

5.3 Εφαρμογές της 3D εκτύπωσης στην Αεροναυπηγική

Η βιομηχανία αεροδιαστημικής είναι μια βασική αγορά για την κατασκευή προσθέτων. Αυτό δεν συμβαίνει μόνο επειδή ο τομέας αυτός χρησιμοποιεί εφευρέσεις τελευταίας τεχνολογίας αλλά και επειδή χρειάζεται αυτές τις εφευρέσεις. Ο ανταγωνισμός που υπάρχει στην αγορά, οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί και το μεγάλο κόστος παραγωγής είναι κάποιες από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα η αεροδιαστημική. Και εδώ είναι το σημείο όπου τα οφέλη της κατασκευής προσθέτων έρχονται στο προσκήνιο, ο μικρότερος χρόνος παραγωγής, η εξοικονόμηση υλικών και η οικονομική απόδοση είναι μερικοί από τους λόγους για τους οποίους οι εταιρείες αεροδιαστημικής θα πρέπει να ενσωματώσουν την 3D εκτύπωση στις στρατηγικές παραγωγής τους.

Το DMLS (direct metal laser sintering) είναι η τεχνική που χρησιμοποιείται περισσότερο για την 3D κατασκευή αεροδιαστημικών εξαρτημάτων.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της 3D εκτύπωσης για την αεροδιαστημική βιομηχανία είναι τα εξής:

➤ **Σύνθετα Σχέδια**

Η τρισδιάστατη κατασκευή προσφέρει μεγάλη ευελιξία όσον αφορά τη γεωμετρία και επιτρέπει μορφές που παλαιότερα ήταν αδύνατο να κατασκευαστούν.

➤ **Μείωση Βάρους**

Η μείωση του βάρους είναι ένα σημαντικό θέμα στην αεροδιαστημική βιομηχανία. Το μικρότερο βάρος οδηγεί σε χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμων και CO₂ που αυτό σημαίνει χαμηλότερο κόστος.

➤ **Βελτιωμένη αντοχή και ανθεκτικότητα**

Οι μηχανικές ιδιότητες των μεταλλικών σκονών οδηγούν σε βελτιωμένη αντοχή και εξαιρετική αντίσταση στις υψηλές θερμοκρασίες και στις διαβρωτικές συνθήκες που συναντώνται σε κινητήρες αεροσκαφών.

➤ **Μεγάλη Οικονομία**

Μπορούμε να έχουμε οικονομικά χαμηλές ποσότητες παραγωγής επειδή δεν απαιτούνται σκληρά εργαλεία. Οι σχεδιαστές και οι μηχανικοί κατασκευής δεν χρειάζεται να σχεδιάζουν και να κατασκευάζουν καλούπια, μήτρες ή εξαρτήματα ή να ξοδεύουν χρόνο για σύνθετο σχεδιασμό διαδικασιών (π.χ. για μηχανική κατεργασία) που απαιτούν οι συμβατικές διαδικασίες κατασκευής. Επίσης, τα τρισδιάστατα τυπωμένα εξαρτήματα δημιουργούν λιγότερα απόβλητα συγκριτικά με τα παραδοσιακά κατασκευασμένα και οδηγούν σε φιλικά προς το περιβάλλον και ενεργειακά αποδοτικά οχήματα [11],[28].

5.3.1 3D Εκτυπωμένος Πύραυλος

Η τωρινή τεχνολογία μας δίνει την ευκαιρία να γίνονται μερικές ανακαλύψεις στην επιφάνεια της σελήνης, αλλά συνεχίζουν να υπάρχουν πολλά που δεν είναι γνωστά. Για το λόγο αυτό, δύο νέες εταιρείες συνεργάστηκαν για να προσπαθήσουν να στείλουν ένα ρομποτικό όχημα στο φεγγάρι με σκοπό την αποστολή HD βίντεο πίσω στη Γη, με τη βοήθεια ενός 3D εκτυπωμένου πυραύλου.

Η Moon Express που εδρεύει στην Καλιφόρνια προσπαθεί τα τελευταία χρόνια να αναπτύξει την κατάλληλη τεχνολογία ώστε να κάνει την εξερεύνηση στο φεγγάρι ευκολότερη και πιο προσιτή από ποτέ. Η εταιρεία βλέπει τεράστιες δυνατότητες εξόρυξης φυσικών πόρων από την επιφάνεια του φεγγαριού. Τα τελευταία δύο χρόνια, έχουν βάλει ως στόχο την εκτόξευση του ρομπότ τους με εξοπλισμό HD μέχρι το τέλος του 2017 με το Rocket Electron από την Rocket Lab της Νέας Ζηλανδίας. Το Electron, έγινε γνωστό ως το πρώτο παγκοσμίως πυραυλοκίνητο με έναν κινητήρα κατασκευασμένο σχεδόν εξ ολοκλήρου από τρισδιάστατα κομμάτια. Ο κινητήρας Rutherford του πυραύλου θέλει μόνο τρεις μέρες για να κατασκευαστεί, χάρη στην απλοποίηση που κατέστη δυνατή από την εκτύπωση 3D. Η Rocket Lab έχει οργανώσει πτήσεις πυραύλου, ο οποίος έχει την ικανότητα να μεταφέρει φορτία μέχρι 330 κιλά. Το Electron έχει λειτουργήσει μόνο σε δοκιμαστικό στάδιο και δεν έχει ακόμη πετάξει, αλλά η Moon Express θέλει να ρισκάρει όσον αφορά τον πύραυλο και έχει προγραμματίσει τρεις πτήσεις για πετύχει αυτόν τον στόχο.



Σχήμα 8. 3D εκτυπωμένος πύραυλος (από 3dprint.com)

Η NASA κάνει δοκιμές σε διάφορα τρισδιάστατα κομμάτια πυραύλων τα τελευταία χρόνια και τα αποτελέσματα είναι ελπιδοφόρα [29]. Τα τρισδιάστατα εξαρτήματα έχουν δείξει ότι λειτουργούν καθώς και, αν όχι καλύτερα από τα παραδοσιακά κατασκευασμένα μέρη, σε πολύ μικρότερο ποσοστό του παραδοσιακού κόστους και του χρόνου κατασκευής. Εάν η Moon Express και η Rocket Lab μπορέσουν να βάλουν τον πύραυλο Electron στο φεγγάρι, τότε η εξερεύνηση του διαστήματος θα γίνει ευκολότερη και πιο οικονομική [30].

5.3.2 3D εκτυπωμένος κινητήρας τζετ

Η Rolls-Royce είναι ένας από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές κινητήρων αεριωθούμενων στον κόσμο και μία από τους ηγέτες της βιομηχανίας που ευθύνονται για την υιοθέτηση από όλο και πιο πολλές εταιρείες της εκτύπωσης 3D στη διαδικασία παραγωγής τους. Η εταιρεία κατασκευάζει κινητήρες για αεροσκάφη για πάνω από ένα αιώνα. Το 2015 έμεινε στην ιστορία πετώντας ένα επιβατικό αεροσκάφος της Airbus χρησιμοποιώντας τον πιο ισχυρό κινητήρα τζετ που έχει κατασκευάσει ποτέ. Το ρεκόρ που προκαλεί την ώθηση που παράγει ο συγκεκριμένος κινητήρας επετεύχθη χάρη σε ένα σύνολο εξελιγμένων πτερυγίων που εκτυπώθηκαν τρισδιάστατα.



Σχήμα 9. Airbus Trent XWB (από www.aircraft.airbus.com)

Η σειρά Trent XWB των turbo αεριωθούμενων κινητήρων θεωρείται ως ένας από τους πιο αξιόπιστους και αποτελεσματικούς κινητήρες επιβατικών αεριωθούμενων που υπάρχουν στην αγορά εδώ και μια δεκαετία. Ακόμα είναι η ταχύτερα πωλούμενη μηχανή αεριωθούμενων μεγάλων αμαξωμάτων καθώς έχει πουλήσει περισσότερους από 1500 κινητήρες σε πάνω από 40 μεμονωμένους πελάτες. Επί του παρόντος, η Rolls-Royce προμηθεύει αποκλειστικά κινητήρες για το Airbus A350 XWB και συνεχώς πιέζει τα όρια του τι μπορεί να κάνει ο κινητήρας για να συμβαδίσει με τα νέα μοντέλα της Airbus αυξάνοντας την ισχύ και την αξιοπιστία από τότε που το Trent 1000 πρωτοκυκλοφόρησε.

Το πιο νέο μοντέλο που βρίσκεται σε στάδιο εξέλιξης είναι το Trent XWB-97, που σχεδιάζεται για να τροφοδοτήσει μια μεγαλύτερη έκδοση του Airbus A350 XWB που έχει το όνομα A350-1000 και αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία το 2017. Το 2015 έγινε η πρώτη επιτυχημένη δοκιμή του Trent XWB-97 σε πτήση. Ο τρισδιάστατος κινητήρας Trent XWB-97 αντικατέστησε έναν από τους τέσσερις κινητήρες Rolls-Royce Trent 900 που είναι συνήθως εγκατεστημένοι σε Airbus A350 XWB για πτήσεις εκτός της έδρας της Airbus στην Τουλούζη της Γαλλίας. Αυτή η δοκιμαστική πτήση ήταν η πρώτη επιτυχημένη πτήση δοκιμής της μεγαλύτερης δομής 3D κινητήρα αεροπλάνου στον κόσμο.

Η προηγούμενη γενιά των κινητήρων Trent XWB ήταν το XWB-84, το οποίο ονομάστηκε έτσι επειδή προσφέρει 84.000 λίβρες ώθησης κατά την απογείωση. Το ολοκαίνουργιο Trent XWB-97 προσφέρει ώθηση 97.000 λίβρες με πολύ μικρή πρόσθετη ισχύ. Ένα μέρος αυτής της αύξησης ισχύος προέρχεται χάρις σε αρκετά

τρισεδιάστατα κομμάτια που βρίσκονται μέσα στο μπροστινό περίβλημα του κινητήρα. Αυτά είναι τα μεγαλύτερα τρισεδιάστατα τυπωμένα μέρη που έχουν ενσωματωθεί ποτέ σε μηχανή τζετ και κατασκευάστηκαν με μια διαδικασία που αναπτύχθηκε από την Rolls-Royce και το Πανεπιστήμιο του Sheffield.

Το 2015 η Rolls-Royce επένδυσε δεκάδες εκατομμύρια για την κατασκευή τους στο Derby της Μεγάλης Βρετανίας, κάνοντας την περιοχή πρωταρχική τοποθεσία για την παραγωγή των Trent XWB. Η Rolls-Royce εκμεταλλεύομενη τις νέες δυνατότητες της 3D εκτύπωσης έχει τη δυνατότητα να κάνει τη διαδικασία ανάπτυξης και σχεδίασης κινητήρων ταχύτερη και λιγότερο δαπανηρή. Σύμφωνα με την εταιρεία, χρησιμοποιώντας τα τρισεδιάστατα εκτυπωμένα εξαρτήματα στο Trent XWB-97, ο χρόνος που απαιτείται για την κατασκευή των αεροτομών μειώθηκε κατά ένα τρίτο [31].

5.4 Εφαρμογές 3D εκτύπωσης στην Αυτοκινητοβιομηχανία

Η αυτοκινητοβιομηχανία είναι ένας από τους μεγαλύτερους κλάδους της παγκόσμιας βιομηχανίας (βάση τζίρου και εργαζομένων) όπου υπάρχει μεγάλος ανταγωνισμός. Οι εταιρίες που κατασκευάζουν αυτοκίνητα και παράγουν εξαρτήματα για αυτά, αναζητούν καινούριους τρόπους μείωσης του κόστους παραγωγής, προσπαθώντας ταυτόχρονα να κρατήσουν την ποιότητα των προϊόντων σε υψηλό επίπεδο. Στη συνέχεια αναφέρουμε παραδείγματα εταιριών που χρησιμοποιούν την τρισεδιάστατη εκτύπωση στην παραγωγή των προϊόντων τους.

5.4.1 Koenigsegg One:1

Η Koenigsegg είναι σουηδική εταιρεία κατασκευής υπερπολυτελών αυτοκινήτων που εδρεύει στο Άνγκελχολμ της Σουηδίας. Το μοντέλο One:1 παρουσιάστηκε το 2014. Το turbo στο One:1 είναι ένα αριστούργημα και επετεύχθη χάρη στην τρισεδιάστατη εκτύπωση. Με το επίπεδο δοκιμών και σφαλμάτων που έγιναν θα καθιστούσε απαγορευτικά δαπανηρή αυτή την επένδυση. Η έρευνα και η ανάπτυξη τέτοιων εγχειρημάτων αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για τις μικρές επιχειρήσεις, όμως η Koenigsegg βρήκε την λύση χρησιμοποιώντας την σύγχρονη τεχνολογία. Η 3D εκτύπωση επέτρεψε τη δημιουργία ενός στενού εσωτερικού στρώματος turbo και μια μεγαλύτερη μονάδα σε μία που του επέτρεψε να επιτύχει την καλύτερη δυνατή επιτάχυνση και υψηλή απόδοση. Αυτές είναι συγκρουόμενες απαιτήσεις και η 3D επέτρεψε στην εταιρεία να λύσει ένα αίνιγμα. Η ροή αερίου είναι επίσης πολύ σημαντική και με λιγότερα εξαρτήματα η Koenigsegg κατάφερε να συντονίσει τη ροή μέσω των στροβίλων και να εκτυπώσει το περίβλημα σφιχτά γύρω από τα εσωτερικά μέρη. Το turbo είναι μόνο η αρχή της 3D τεχνολογίας στο Regera (δηλ. στο συγκεκριμένο τύπο αυτοκινήτου) και στα μελλοντικά οχήματα της Koenigsegg [32].



Σχήμα 10. Koenigsegg One:1

5.4.2 Audi Spare Parts

Η Audi χρησιμοποιεί την 3D εκτύπωση με διάφορους τρόπους, αλλά ο πιο ενδιαφέρων σε εμπορικό επίπεδο, είναι ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάζει ανταλλακτικά και διακόπτει ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού. Οι κατασκευαστές διατηρούν τεράστια αποθέματα ανταλλακτικών που πρέπει να σταλθούν σε όλο τον κόσμο. Πολλά από αυτά δεν θα χρησιμοποιηθούν για μήνες, μπορεί και χρόνια αλλά οι παραδοσιακές τεχνικές υπαγορεύουν ότι κατασκευάζονται, αποστέλλονται και αποθηκεύονται χονδρικά. Οι πελάτες θα πρέπει να περιμένουν σήμερα τους αντιπροσώπους να παραγγείλουν ανταλλακτικά από ένα κεντρικό σιλό και αυτό είναι μια χρονοβόρα και δαπανηρή διαδικασία. Στο μέλλον, τα διαπιστευμένα κέντρα εξυπηρέτησης θα μπορούσαν απλά να τυπώσουν το τμήμα όποτε το χρειάζονταν.



Σχήμα 11. Το λογότυπο της Audi

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έδωσε την δυνατότητα στην Audi να διακόψει τη δική της αλυσίδα εσωτερικού εφοδιασμού. Δεν μπορεί να εφαρμόσει την εκτύπωση 3D σε

ολόκληρο των κατάλογο μερών, γιατί δεν έχει φτάσει ακόμα σε αυτό το επίπεδο. Με την τοποθέτηση όμως 3D εκτυπωτών σε όλο τον κόσμο η Audi κατάφερε να εξαλείψει την παραγωγή ορισμένων εξαρτημάτων και τώρα μπορεί να τις εκτυπώσει κατόπιν αιτήματος. Έτσι εξοικονομεί ένα πολύ μεγάλο ποσό χρημάτων που αντιστοιχεί σε αδρανές απόθεμα. Αυτό είναι το πρώτο βήμα σε ένα μακρύ ταξίδι και η εταιρεία εργάζεται για μια ροή εργασιών 3D που θα μπορούσε τελικά να εξαλείψει την γραμμή παραγωγής, όπως την γνωρίζουμε [32].

5.4.3 Honda Access

Η θυγατρική της Honda, η Honda Access, υπάρχει για να προσφέρει την τεράστια ζήτηση για υψηλής ποιότητας εξαρτημάτων αυτοκινήτων. Σήμερα οι ίδιοι οι κατασκευαστές μπορούν να προσφέρουν ειδικά φινιρίσματα και πρόσθετες πινελιές με τρισδιάστατη εκτύπωση. Πιο συγκεκριμένα η Honda αγόρασε έναν εκτυπωτή Stratasys Objet Eden500V 3D μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας το 2006. Το μηχάνημα μπορεί να παράγει εξαρτήματα μέχρι και 14" τροχών, γεγονός που δίνει στην εταιρεία τεράστιο πεδίο όσον αφορά την παραγωγή λεπτομερειών που μπορούν να ορισθούν σαν περιορισμένη έκδοση. Περιλαμβάνουν ελαφριά περιβλήματα, διακόπτες, σήματα και πολλά άλλα. Ο ιαπωνικός κατασκευαστής εργάζεται σε μεγάλο βαθμό με άκαμπτα αδιαφανή πλαστικά Vero που στη συνέχεια βάφει για να επιτύχει ένα παρόμοιο φινιρίσμα με το μέταλλο που περιβάλλεται.



Σχήμα 12. Το λογότυπο της Honda

5.4.4 Μονοθέσιο Williams F1

Η Formula 1 είναι το πιο τεχνικά εξελιγμένο άθλημα στον κόσμο. Οι ομάδες αναπτύσσουν καινούρια αυτοκίνητα κάθε χρόνο που στη συνέχεια τα αναπτύσσουν κατά τη διάρκεια της χρονιάς. Οι ομάδες μπορεί να αλλάξουν ριζικά τα αυτοκίνητά τους από αγώνα σε αγώνα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Η F1 είναι βαρόμετρο της αυτοκινητοβιομηχανίας στο σύνολό της. Οι ομάδες πρέπει να κατασκευάσουν τα ίδια πράγματα αλλά γρηγορότερα, ελαφρύτερα, ισχυρότερα και καλύτερα. Όλες οι ομάδες έχουν 3D εκτυπωτές αλλά λίγες είναι αυτές που θα ξεχωρίζουν.



Σχήμα 13. Williams F1

Η μυστικότητα είναι μεγάλη υπόθεση στη F1, αλλά η Williams έχει αποκαλύψει κάποιες λεπτομέρειες μετά τη σύναψη συνεργασίας με την γερμανική εταιρία EOS [33]. Παρασκευάζει για χρόνια μικρά κομμάτια Alumide (νάιλον με σκόνη αλουμινίου) και CarbonMide (ίνες άνθρακα και πολυαμίδιο), τα οποία επιτρέπουν στην εταιρεία να εκτυπώσει τα πάντα ακόμη και πλήρη συγκροτήματα κιβωτίων ταχυτήτων για λειτουργικές δομές και αεροδυναμικά μέρη. Η βρετανική εταιρεία παρέλαβε ένα 3D εκτυπωτή EOSINT 760 3D τον Δεκέμβριο του 2015 που της επιτρέπει να εκτυπώνει τα περιβλήματα του κιβωτίου ταχυτήτων και άλλα. Με το παλιό σύστημα τα εξαρτήματα αυτά θα μπορούσαν να πάρουν μέρες και μεγάλα χρηματικά ποσά για την κατασκευή τους. Τώρα είναι έτοιμα εντός ωρών και η εταιρεία μπορεί να βελτιώνει συνεχώς τις ιδέες τους και να εκτυπώσει κομμάτια για αντικατάσταση [32].

5.4.5 Ελαστικά Hankook

Το να κατασκευαστούν ελαστικά δεν είναι τόσο εύκολο. Είναι μια εξελιγμένη επιστήμη και ο συνδυασμός των υλικών, η ακρίβεια της δομικής σύνθεσης και οι διαφορετικές περικοπές στο λάστιχο καταλήγουν σε σχεδόν άπειρο αριθμό συνδυασμών.

Η Hankook πωλεί ελαστικά σε 185 χώρες και πρέπει να συνεργαστεί με ένα τεράστιο αριθμό αυτοκινήτων, μοτοσικλετών, φορτηγών και άλλα μέσα σε εξίσου μεγάλο αριθμό συνθηκών. Η αγορά είναι ανταγωνιστική έτσι η Hankook πρέπει να βρει κάποιον τρόπο τέτοιο ώστε να μπορεί να παράγει πιο αποτελεσματικά, πιο ανθεκτικά και ασφαλέστερα ελαστικά.



Σχήμα 14. Ελαστικό Hankook

Αυτό σημαίνει ότι τα τμήματα σχεδιασμού και μηχανικής πρέπει να λειτουργούν σαν μία καλά οργανωμένη μηχανή. Η κορεατική εταιρεία υπογραμμίζει ότι η κατοχή πλήρων τυπωμένων ελαστικών βοηθά την επικοινωνία μεταξύ των τμημάτων και έχει μειώσει τους χρόνους συνάντησης κατά 70%. Μέσα στο έτος, κέρδη όπως αυτά μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την απόδοση και τα κέρδη της εταιρείας.

Το τμήμα σχεδίασης της Hankook Tire χρησιμοποιεί έναν εκτυπωτή ProJet CJP 660 3D από τα συστήματα 3D ως βασικό τμήμα της διαδικασίας σχεδιασμού του και επένδυσε σε έναν δεύτερο που χρησιμοποιεί την τεχνολογία ColorJet (CJP) για την δημιουργία τέλειων μοντέλων. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί και πετυχαίνει τις σχεδιαστικές προδιαγραφές μορφής, λειτουργίας και απόδοσης [32],[34].

5.4.6 Luxexcel automotive lenses

Γενικότερα θεωρούσαμε ότι οι διαυγείς φακοί απλά δεν θα μπορούσαν να γίνουν πραγματικότητα, καθώς η μέθοδος 3D εκτύπωσης layer-by-layer (ξεχωριστά στρώματα υλικού) δημιούργησε ατέλειες. Αυτό θα είναι πάντα κακό για τη μετάδοση του φωτός, αλλά η Luxexcel το έχει διορθώσει. Τα φωτοκύτταρα αυτοκινήτων είναι τα ίδια μια επιστήμη και με το παλιό σύστημα που έπρεπε να επενδύσουν οι κατασκευαστές στη χύτευση με έγχυση, ακόμη και για τα πρωτότυπα. Αυτό θα μπορούσε να διαρκέσει εβδομάδες ή και μήνες. Αυτό έκανε να αργήσει η παραγωγή ενός νέου αυτοκινήτου. Χρησιμοποιώντας την κατοχυρωμένη τεχνολογία Printoptical, η Luxexcel και ο εταίρος OPTIS μπορούν τώρα να έχουν ένα τέλειο, λειτουργικό πρωτότυπο έτοιμο να ξεκινήσει μέσα σε λίγες μέρες, αυτοματοποιώντας τη διαδικασία και εξοικονομώντας πολύ χρόνο. Χρησιμοποιεί υγρή ρητίνη που σκληραίνει από το φως, οπότε δεν έχει τα εγγενή προβλήματα της

εκτύπωσης layer-by-layer. Το φως μεταδίδεται τέλεια και οι κατασκευαστές μπορούν να δοκιμάσουν και να βελτιώσουν τα σχέδιά τους [32].

5.5 Εφαρμογές στην Αρχιτεκτονική

Η 3D εκτύπωση έχει επηρεάσει τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούμε την φαντασία μας σε σχέση με τα αρχιτεκτονικά σχέδια. Επειδή έχουμε τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε στιγμιαία οτιδήποτε σχεδιάζουμε, έχει δώσει στους αρχιτέκτονες μεγάλη δυνατότητα πρωτοτυποποίησης [35]. Στον κλάδο της αρχιτεκτονικής και των κατασκευών, οι 3D εκτυπωτές χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων, πρωτοτύπων ή μικρών, μη δομικών κατασκευαστικών στοιχείων, όπως τα τούβλα. Οι ερευνητές πειραματίζονται με διαφορετικούς τύπους 3D εκτυπωτών, πρώτες ύλες και τεχνικές κατασκευής ώστε να επιταχύνουν την τεχνολογία και να μεγαλώσουν το εύρος των πιθανών εφαρμογών με σκοπό να συμπεριλάβουν δομικά κατασκευαστικά στοιχεία και ακόμη ολόκληρα κτήρια. Οι πειραματισμοί γίνονται με:

- Με μια ποικιλία πρώτων υλών όπως το ανακυκλωμένο πλαστικό, τα βιοπλαστικά, το σκυρόδεμα κ.α.
- Εξελιγμένους τρισδιάστατους εκτυπωτές που μπορούν να εξάγουν πολλαπλά υλικά
- Μια ποικιλία μεθόδων κατασκευής (π.χ. εκτύπωση εξαρτημάτων τοιχώματος σε τμήματα που μπορούν να ενωθούν μαζί στο χώρο)
- Δημιουργία σπλισμών από σπλισμένο σκυρόδεμα και
- Άμεση εκτύπωση στο εργοτάξιο ή σε εργοστάσια [36]

Κάποιοι επιστήμονες μελετούν την τρισδιάστατη εκτύπωση ως μέθοδο άμεσης κατασκευής. Έρευνα γίνεται σε αρκετούς οργανισμούς σε αυτό το πεδίο, κυρίως στο Πανεπιστήμιο Loughborough, στο τμήμα Contour Crafting and Universe Architecture [37].

Το κόστος και η ευκολία είναι βασικοί παράγοντες και σε αυτό το σημείο είναι που η 3D υπερτερεί σε σχέση με τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Η 3D εκτύπωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός μεγάλου φάσματος αρχιτεκτονικών μοντέλων που θα ήταν αδύνατο να απεικονιστεί διαφορετικά. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- **Κόστος**
Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει δώσει την δυνατότητα στους αρχιτέκτονες και στους σχεδιαστές να φτιάχνουν 3D αρχιτεκτονικά μοντέλα με μικρό κόστος και μεγάλο επίπεδο ακρίβειας
- **Χρόνος**
Με την 3D εκτύπωση έχουμε εξοικονόμηση χρόνου στις αρχικές φάσεις σχεδιασμού και δημιουργίας, μειώνοντας έτσι το χρόνο παραγωγής για την

κατασκευή του αρχιτεκτονικού μοντέλου και επιτρέποντας γρήγορες δοκιμές ιδεών. Όταν εξοικονομείται χρόνος χειρονακτικής εργασίας, γίνεται δυνατή η αφιέρωση περισσότερου χρόνου στην ανάπτυξη διαφορετικών εκδοχών του μοντέλου.

➤ **Ευκολία στη χρήση**

Η ευκολία με την οποία τα σκίτσα μετατρέπονται σε μοντέλα καθιστά την τρισδιάστατη εκτύπωση εξαιρετικά δημοφιλή.

➤ **Ευρεία κλίμακα χρήσης**

Ένα σημαντικό γεγονός είναι ότι δεν υπάρχει περιορισμός στο μέγεθος της εκτύπωσης. Από μικρές κατασκευές μέχρι ολόκληρα κτήρια υπάρχει η δυνατότητα εκτύπωσης. Η εκτύπωση που προκύπτει είναι ακριβής, με καλή ανάλυση και μπορεί να έχει παραχθεί από ένα μεγάλο πλήθος διαθέσιμων υλικών

➤ **Ευελιξία**

Οι 3D εκτυπωτές επιτρέπουν στους αρχιτέκτονες να σχεδιάζουν ελεύθερα χωρίς να ανησυχούν για τα ανθρώπινα σφάλματα που εισάγονται στην τελική παραγωγή. Τα 3D εκτυπωμένα μοντέλα αρχιτεκτονικής κλίμακας διαθέτουν, ακόμα, τέλεια ακρίβεια. Αυτή η ελευθερία δίνει τη δυνατότητα στους αρχιτέκτονες να σχεδιάζουν πιο δημιουργικά, ενώ παράλληλα έχουν τη δυνατότητα να κάνουν πολλαπλά αντίγραφα πιο γρήγορα από ποτέ αλλάζοντας όποτε θέλουν οποιαδήποτε παράμετρο εκτύπωσης [35],[38],[39].

5.5.1 3D Τυπωμένα Κτήρια Κατοικιών

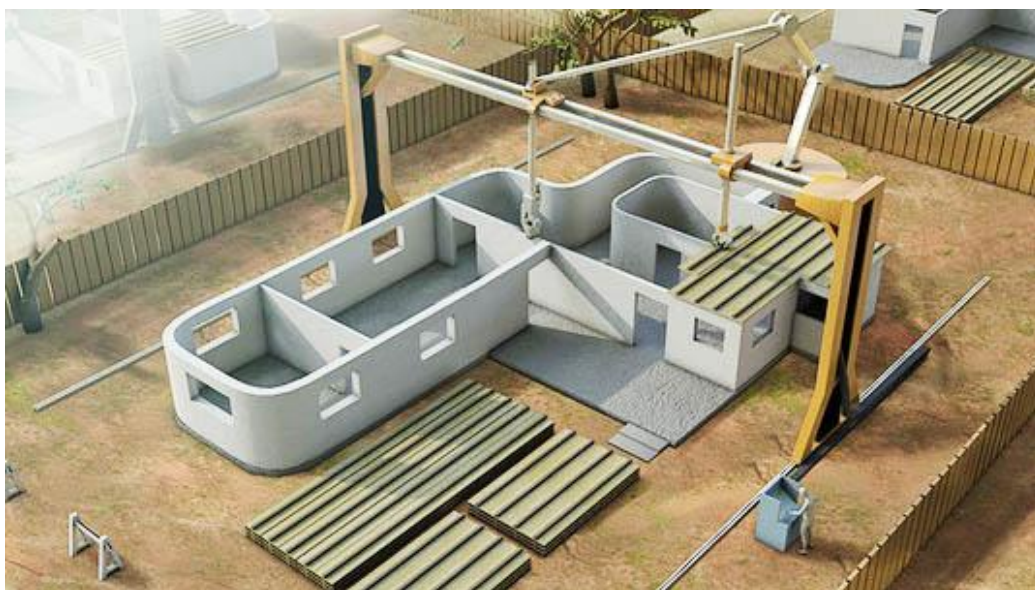
Τα τελευταία χρόνια αρχιτέκτονες, μηχανικοί και ερευνητές μελετούν τις δυνατότητες κατασκευής κτηρίων πλήρως από 3D εκτυπωτές. Αρχιτεκτονικές και επιστημονικές ομάδες ερευνούν διαφορετικά υλικά και μεθόδους κατασκευής ώστε το εγχείρημα αυτό να πραγματοποιηθεί. Η αρχή έγινε από το ολλανδικό στούντιο Universe Architecture, το οποίο τον Ιανουάριο του 2013 έδωσε στη δημοσιότητα σχέδια για ένα διώροφο σπίτι που θα εκτυπωθεί στο εργοτάξιο από σκυρόδεμα. Επίσης ένα αρχιτεκτονικό γραφείο από τη Μεγάλη Βρετανία το Softkill Design ανακοίνωσε τα σχέδιά του για την κατασκευή του Protohouse 2.0, μιας οικίας με ινώδη δομή που μοιάζει με ανάπτυξη οστών.



Σχήμα 15. To Protohouse 2.0

Ακόμα αρχιτέκτονες της DUS, με έδρα το Άμστερνταμ, συμμετείχαν σε ένα έργο εκτύπωσης δωμάτιο ανά δωμάτιο, ενός σπιτιού σε κανάλι στην πόλη χρησιμοποιώντας ένα φορητό οικιακό εκτυπωτή που είναι τοποθετημένος σε ένα αναβαθμισμένο δοχείο μεταφοράς. Επίσης μια ερευνητική ομάδα από το MIT στις ΗΠΑ εργάζεται πάνω σε σχέδια για εκτύπωση ενός μικρού περιπτερού διαμορφωμένου από ρομποτικό βραχίονα που μιμείται τον τρόπο που ένας μεταξοσκώληκας χτίζει το κουκούλι του [40].

Τον Σεπτέμβριο του 2015, ένας 3D εκτυπωτής 12 μέτρων, με το όνομα "Μεγάλος Δέλτα", παρουσιάστηκε στην Ιταλία από την World's Advanced Saving Project (WASP). Ο εκτυπωτής έχει σχεδιαστεί για να παράγει ένα πλήρες καταφύγιο χρησιμοποιώντας υλικά όπως λάσπη, πηλό και φυσικές ίνες και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία κατοικιών σε περιοχές που έχουν υποστεί καταστροφές ή σε περιοχές όπου απαιτείται μαζική παραγωγή κατοικιών έκτακτης ανάγκης. Ο Berok Khoshnevis από το Πανεπιστήμιο της Νότιας Καλιφόρνια έχει αναπτύξει μια διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης που ονομάζεται περίγραμμα βιοτεχνίας, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα αυτοματοποίησης της κατασκευής ενός πλήρους σπιτιού, συμπεριλαμβανομένων ηλεκτρικών και υδραυλικών δικτύων, γυψοσανίδων και μόνωσης [36].



Σχήμα 16. Η ιδέα του Berok Khoshnevis για την κατασκευή 3D κτηρίων (από 3dprint.com)

Τέλος, σύμφωνα με το BBC η 3D εκτύπωση θα μπορούσε να επιτρέψει στη Sagrada Familia του Antoni Gaudí στη Βαρκελώνη, ένα από τα πιο φιλόδοξα κτήρια της σύγχρονης αρχιτεκτονικής να ολοκληρωθεί μετά από περισσότερο από έναν αιώνα από την έναρξη του έργου. Συνεπώς, τα αρχιτεκτονικά μοντέλα 3D που δημιουργούνται χρησιμοποιώντας την εκτύπωση 3D με ταχύτητα και ακρίβεια μπορούν να συμβάλλουν στην ολοκλήρωση του έργου [38].

5.6 Εφαρμογές τρισδιάστατης εκτύπωσης για την δημιουργία καταναλωτικών αντικειμένων

Η τρισδιάστατη εκτύπωση αλλάζει ήδη την καταναλωτική αγορά σιγά-σιγά. Κάποτε η μαζική εξατομίκευση ήταν μια δαπανηρή και πολύπλοκη ιδέα, τώρα έχει γίνει πραγματικότητα. Οι απαιτήσεις της 3D εκτύπωσης είναι χαμηλές διότι δεν υπάρχει εγκατάσταση παραγωγής, ούτε καν απαιτούνται εκτυπωτές για τους σχεδιαστές και το μόνο που χρειάζεται είναι μια online υπηρεσία εκτύπωσης. Οι υπηρεσίες αυτές δίνουν στους σχεδιαστές την ελευθερία που χρειάζονται, π.χ. η αλλαγή του μεγέθους ή του υλικού ενός αντικειμένου είναι τώρα θέμα μόνο λίγων κλικ. Ακόμα οι σχεδιαστές μπορούν να μοιράζονται το σχέδιό τους με άλλους, με σκοπό να κάνουν τα προϊόντα ακόμα καλύτερα ή να βοηθήσουν άλλους σχεδιαστές με παρόμοια προβλήματα. Όλες αυτές οι συνθήκες οδηγούν αυτή τη νέα βιομηχανική επανάσταση που πρόκειται να αλλάξει τα καταναλωτικά προϊόντα του μέλλοντος [41].

Η 3D εκτύπωση φέρνει τα εικονικά σχέδια στην πραγματική ζωή. Σήμερα η απορρόφηση από τους καταναλωτές είναι μικρή λόγω των προβλημάτων προσβασιμότητας που υπάρχουν σε επίπεδο εισόδου. Υπάρχει όμως πρόοδος από τις μεγαλύτερες εταιρείες 3D εκτύπωσης, καθώς προσπαθούν να κάνουν πιο απλή

την διαδικασία εκτύπωσης. Έχουμε τρεις βασικούς τρόπους με τους οποίους ο μέσος άνθρωπος μπορεί να αλληλεπιδράσει με την τεχνολογία 3D εκτύπωσης για τα καταναλωτικά προϊόντα:

- Σχεδιασμός + εκτύπωση
- Επιλογή + εκτύπωση
- Επιλογή + εκτέλεση με υπηρεσία τρισδιάστατης εκτύπωσης [37]

Τα καταναλωτικά αντικείμενα που παράγονται με τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να αποτελούνται από διάφορα είδη όπως πράγματα καθημερινής χρήσης, κοσμήματα, ρούχα και παπούτσια κλπ. Η ιστοσελίδα All About 3D Printing διαθέτει μία λίστα με τις πιο ξεχωριστές ιδέες στον τομέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης τα τελευταία χρόνια [42].

Στον τομέα των κοσμημάτων υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για το πώς η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη του κλάδου αυτού. Οι νέες λειτουργίες σχεδίασης που γίνονται δυνατές μέσω της 3D CAT απεικόνισης και της 3D εκτύπωσης, βελτιώνουν τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής κοσμημάτων και κάνουν την 3D εκτύπωση να έχει τεράστιο αντίκτυπο σε αυτόν τον τομέα. Το 2012, ο Zbynek Krulich ίδρυσε μία μάρκα που παράγει τρισδιάστατα κοσμήματα την Blueberries. Η τελευταία συλλογή των κοσμημάτων του έγινε από ελαφρύ και εύκαμπτο νάιλον. Πιο πρόσφατα, στη συλλογή προστέθηκαν κοσμήματα από διαφανή ρητίνη, ανοξείδωτο χάλυβα, ασήμι και χρυσό.



Σχήμα 17. 3D εκτυπωμένο δαχτυλίδι από την Blueberries του Zbynek Krulich (από [pinterest.com](https://www.pinterest.com))

Και στην μόδα όμως έχουμε την χρήση της τρισδιάστατης τεχνολογίας. Τα τυπωμένα αξεσουάρ 3D, συμπεριλαμβανομένων των παπουτσιών, των καπέλων και των τσαντών έχουν κάνει την εμφάνισή τους στις διεθνείς πασαρέλες. Η Iris van Herpen θα πρέπει να αναφερθεί ως η πρωτοπόρος σε αυτόν τον τομέα. Έχει δημιουργήσει μια σειρά από συλλογές που ενσωματώνουν τρισδιάστατη εκτύπωση με σκοπό να σπάσουν οι κανόνες που μέχρι τώρα ίσχυαν για το χώρο της μόδας. Πολλοί έχουν ακολουθήσει στα βήματά της, συχνά με εντελώς πρωτότυπα αποτελέσματα.



Σχήμα 18. Τρισδιάστατο εκτυπωμένο φόρεμα της Iris van Herpen

Τέλος υπάρχουν πολλοί καλλιτέχνες που ασχολούνται πλέον με την εκτύπωση 3D και έχουν γίνει γνωστοί δουλεύοντας με 3D μοντέλα. Κάποιοι από αυτούς είναι οι: Joshua Harker, Dizingof, Jessica Rosenkrantz, Pia Hinze, Nick Ervinck, Lionel Dean κ.α. [37].

5.7 Εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων

Έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στη σύγχρονη βιομηχανία τροφίμων με την εμφάνιση της 3D εκτύπωσης καθώς επιχειρήσεις σε όλο τον κόσμο προσπαθούν την τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων. Στις μέρες μας η 3D εκτύπωση δεν είναι μια ιδέα αλλά μια πραγματικότητα που μπορεί να φέρει επανάσταση στην παραγωγή τροφίμων. Οι 3D εκτυπωτές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή και τη δημιουργία τροφίμων χρησιμοποιούν λέιζερ, σκόνες και ακροφύσια και δίνουν νέες

προοπτικές σχετικά με την εξατομίκευση των τροφίμων και την παροχή ενός μείγματος μόνο των σωστών θρεπτικών ουσιών [43].

5.7.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα 3D εκτύπωσης

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης τροφίμων είναι:

- **Εξοικονόμηση χρόνου και προσπάθειας**
Τα 3D εκτυπωμένα τρόφιμα μπορούν να εξοικονομήσουν τόσο χρόνο όσο και ενέργεια πειραματισμοί με γαρνιτούρες κοκτέιλ ή toppers από σοκολάτα ή ζάχαρη. Ακόμα και ένας εκπαιδευμένος σεφ ζαχαροπλαστικής δεν μπορεί να προσφέρει την τελειότητα που η 3D εκτύπωση μπορεί.
- **Καινοτομία στα υγιεινά τρόφιμα**
Σήμερα, η τρισδιάστατη εκτύπωση ξεπέρασε την κουζίνα. Ο Chloe Rutzerveld, ένας ολλανδός σχεδιαστής τροφίμων, χρησιμοποίησε εκτυπωτές τροφίμων για να δημιουργήσει δομές ζύμης που μοιάζουν με κράκερ και περιλαμβάνουν σπόρια και σπόρους που φυτρώνουν με το χρόνο.
- **Διατροφική βιωσιμότητα**
Η τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων μπορεί να παρέχει τροφή σε ένα συνεχώς αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής τροφίμων. Επίσης οι εκτυπωτές τροφίμων θα μπορούσαν να ελαχιστοποιήσουν τα απόβλητα. Ακόμα και συστατικά που χρησιμοποιούνται σπάνια όπως το γρασίδι, τα έντομα ή τα φύκια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να αποτελέσουν τη βάση γνωστών πιάτων.
- **Εξατομικευμένη αναπαραγωγική διατροφή**
Το γεγονός ότι οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές τροφίμων ακολουθούν οδηγίες, η ιδέα το να παρασκευάζουμε εξατομικευμένα τρόφιμα, που να περιέχουν το κατάλληλο αριθμό θρεπτικών συστατικών για μια συγκεκριμένη ηλικία ή φύλλο δεν είναι μακριά. Οι εκτυπωτές τροφίμων μπορούν εύκολα να βοηθήσουν στον προσδιορισμό της ακριβούς ποσότητας βιταμινών, υδατανθράκων και λιπαρών οξέων για τις καθημερινές ανάγκες ενός ανθρώπου [43],[44].

Τα μειονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης τροφίμων είναι:

- **Αξιοπιστία**
Επειδή υπάρχει η ανάγκη για ομοιότητα και ακρίβεια στα ίδια τρόφιμα, η 3D εκτύπωση έχει ακόμη ψεγάδια σε αυτό το σημείο. Υπάρχει η δυνατότητα για εξέλιξη στον τομέα αυτό, αλλά το αποτέλεσμα μέχρι στιγμής είναι περιορισμένο στην υφή.
- **Κόστος**
Οι εξειδικευμένοι τρισδιάστατοι εκτυπωτές τροφίμων είναι ακριβοί και η τιμή τους δεν αναμένεται να μειωθεί τουλάχιστον στο άμεσο μέλλον. Για

παράδειγμα, ο 3D Food Printer Coojet για επαγγελματίες που χρησιμοποιεί την σοκολάτα ως υλικό αναμένεται να στοιχίζει 10.000 με 50.000 δολάρια.

- **Ασφάλεια**

Όταν πρόκειται για τρόφιμα, η υγεία και η υγιεινή είναι αυτά που παίζουν τον πιο σημαντικό ρόλο. Για αυτό, κάθε πτυχή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή πρέπει να είναι ακριβής και ασφαλής για τα τρόφιμα [45].

5.7.2 Παραδείγματα εφαρμογών τρισδιάστατης παραγωγής τροφίμων

Το εγχείρημα της NASA για 3D εκτύπωση φαγητού

Μέχρι στιγμής, τα τρόφιμα που δίνονται στους αστροναύτες δεν είναι κατάλληλα για τις πολυετείς, μεγάλες αποστολές που η NASA σχεδιάζει να πραγματοποιήσει στο μέλλον. Το σύστημα συντήρησης που χρησιμοποιείται τώρα στα διαστημικά σκάφη είναι ανεπαρκές για ένα ταξίδι στον Άρη.

Κρατώντας τρόφιμα κατεψυγμένα ή σε ψυγείο σε ένα διαστημόπλοιο θα χρησιμοποιούσε πολύτιμους πόρους. Γι αυτό, η NASA παρέχει σήμερα σε αστροναύτες ατομικά συσκευασμένα και διατηρημένα γεύματα τα οποία αποθηκεύονται στο ράφι. Ωστόσο, τα θρεπτικά συστατικά καταστρέφονται κατά τη διαδικασία συντήρησης. Επιπλέον, τα γεύματα δεν είναι εξατομικευμένα για τις ατομικές ανάγκες του κάθε αστροναύτη. Ένα άλλο πρόβλημα με τα τρέχοντα τρόφιμα είναι ότι δεν παρέχουν αρκετή ποικιλία και ενδιαφέρον για ένα μακρύ ταξίδι.

Η NASA έχει δώσει επιχορήγηση στην SMRC (Systems and Materials Research Consultancy) μία εταιρεία που εδρεύει στο Τέξας των ΗΠΑ, για να τους χρηματοδοτήσει για την κατασκευή ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή τροφίμων. Στο σύστημα που κατασκευάζεται οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες και τα μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά συστατικά θα αποθηκεύονται στο διαστημικό σκάφος υπό μορφή σκόνης. Αυτά τα συστατικά θα παραμένουν σταθερά για τριάντα χρόνια με την προϋπόθεση ότι δεν θα υπάρχει υγρασία. Τα θρεπτικά συστατικά της σκόνης θα μπορούσαν να προέρχονται από μια μεγάλη ποικιλία πηγών, περιλαμβάνοντας μη παραδοσιακά τρόφιμα όπως τα έντομα και τα φύκια.



Σχήμα 19. Αστροναύτες στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό (από space.com)

Κατά τη διάρκεια του διαστημικού ταξιδιού, τα ξηρά θρεπτικά συστατικά θα αναμιγνύονται με αρωματικούς παράγοντες και νερό ή λάδι για τη δημιουργία ενός μέσου εκτύπωσης. Η παραγωγή πόσιμου νερού και η διατήρηση του λαδιού που απαιτείται για το μέσο εκτύπωσης είναι δύο πρόσθετοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον προγραμματισμό ενός μεγάλου διαστημικού ταξιδιού [46],[47].

Εκτύπωση κρέατος

Ένας άλλος εξειδικευμένος 3D εκτυπωτής τροφίμων που βρίσκεται σε μορφή πρωτοτύπου είναι ο βιοεκτυπωτής που χρησιμοποιεί ζωντανά κύτταρα. Έναν τέτοιο βιοεκτυπωτή χρησιμοποιεί η εταιρία Modern Meadow για να δημιουργήσει πραγματικό 3D τυπωμένο κρέας χωρίς να σκοτώνει ζώα. Αυτό μπορεί να γίνει διότι υπάρχουν βλαστοκύτταρα στα ζώα όπως επίσης και στους ανθρώπους.



Σχήμα 20. 3D παραγωγή κρέατος χωρίς την ανάγκη σφαγής ζώων

Η παραγωγή τυποποιημένου κρέατος αρχίζει με την απόκτηση των απαιτούμενων βλαστικών κυττάρων από αγελάδα μέσω βιοψίας. Τα βλαστοκύτταρα μπορούν να πολλαπλασιαστούν στο εργαστήριο, οπότε δεν είναι απαραίτητη η συνεχής εκχύλιση κυττάρων από μια ζωντανή αγελάδα. Για να γίνει το κρέας, τα βλαστοκύτταρα αφήνονται να παράγουν άλλους τύπους κυττάρων μέσα σε εργαστηριακό εξοπλισμό. Το μείγμα κυττάρων, ή "bioink", στη συνέχεια εναποτίθεται σε ειδική επιφάνεια από έναν 3D εκτυπωτή. Πολλαπλά κυτταρικά στρώματα τοποθετούνται από τον εκτυπωτή, τα κύτταρα συντήκονται και σχηματίζεται μους ή κρέας.

Ακόμα ο Mark Post είναι ο ηγέτης μια ερευνητικής ομάδας από το Πανεπιστήμιο του Μάαστριχτ στην Ολλανδία, η οποία κατάφερε να αναπτύξει μπιφτέκι χάμπουργκερ χρησιμοποιώντας βλαστοκύτταρα που λαμβάνονται από μια αγελάδα. Μέσω μιας περίπλοκης διαδικασίας, αναπτύχθηκαν διάφορα στρώματα βοδινού και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας μια συνταγή μπιφτέκι, δημιουργήθηκε ένα μπέργκερ. Το μπιφτέκι είχε βάρος 142g και κόστισε σαν καλλιέργεια 310.500 δολάρια. Το μπιφτέκι φαινόταν αρκετά αυθεντικό, αλλά ήταν πολύ μαλακό και όχι πολύ ζουμερό, επειδή δεν υπήρχε λίπος στο καλλιεργημένο κρέας. Η ερευνητική ομάδα πιστεύει ότι το προϊόν θα είναι διαθέσιμο μέχρι το 2020 [46], [45].

Εστιατόρια με 3D εκτύπωση πιάτων

Πολλά εστιατόρια πλέον χρησιμοποιούν την τρισδιάστατη εκτύπωση με σκοπό την προσέλκυση περισσότερων πελατών. Το Food Ink για παράδειγμα προσέλαβε τον Antony Dobrzensky για να κατασκευάσει όλο το εστιατόριο με 3D εκτυπωτές, από τα τραπέζια και τα μαχαιροπίρουνα μέχρι το φαγητό. Βρίσκεται στο Ηνωμένο Βασίλειο και αποτελεί ένα μοντέρνο χώρο που δύσκολα μπορεί κανείς να κάνει κράτηση. Πολύ λίγα εισιτήρια είναι διαθέσιμα κάθε μήνα με αποτέλεσμα να υπάρχει μυστήριο γύρω από το εστιατόριο.

Άλλο ένα παράδειγμα αποτελεί το Melisse, ένα πολυτελές εστιατόριο στην Santa Monica υπό τη διεύθυνση του chef Josiah Citrin. Το εστιατόριο έχει σημειώσει μεγάλη επιτυχία και έχει λάβει 2 αστέρια Michelin. Το εστιατόριο συνεργάστηκε με τρισδιάστατα συστήματα και ανέπτυξε ένα συγκεκριμένο πιάτο. Παρόλο που δεν μοιάζει με μέρος που θα διέθετε 3D εκτυπωτή, το εστιατόριο χρησιμοποιεί για να κάνει ανατροπές σε κλασικά πιάτα. Για παράδειγμα, ο τρισδιάστατος εκτυπωτής χρησιμοποιεί μια αρωματική σκόνη κρεμμυδιού για να δημιουργήσει ένα φρέσκο κρουτόν σε περίτεχνα σχέδια.



Σχήμα 21. Το εστιατόριο Melisse στη Santa Monica

Ακόμα το La Epoteca είναι ένα κομψό, φανταχτερό εστιατόριο στην καρδιά της Βαρκελώνης που διευθύνεται από τον chef Paco Perez. Ένα από τα πιάτα που διαθέτει το εστιατόριο είναι το Sea Coral και γίνεται με εκτύπωση 3D. Ο εκτυπωτής Foodini χρησιμοποιεί ένα πουρέ από θαλασσινά για να δημιουργήσει ένα λουλούδι. Μόλις ολοκληρωθεί οι σεφ το εμπλουτίζουν με μια ποικιλία θαλασσινών από αχιπούς και χαβιάρι. Το σχέδιο θα ήταν πολύ δύσκολο να γίνει με το χέρι, έτσι ένας 3D εκτυπωτής έδωσε τη λύση.

Τέλος, άλλο ένα εστιατόριο που βρίσκεται στην Ισπανία το La Boscana, είναι ένα αριστοκρατικό γκουρμέ εστιατόριο που χρησιμοποιεί τον εκτυπωτή Byflow Focus 3D [48].

Κεφάλαιο 6 . Μελλοντικές τάσεις και εφαρμογές

Η παραγωγή πρωτοτύπων και η τεχνολογία 3D εκτύπωσης αναπτύσσονται με γρήγορους ρυθμούς τα τελευταία 30 χρόνια και όλα δείχνουν ότι στο μέλλον η ανάπτυξή τους θα είναι μεγάλη. Το υποσχόμενο μέλλον της 3D εκτύπωσης καθιστά απρόβλεπτες τις επιπτώσεις της στην παραδοσιακή βιομηχανία. Η τρισδιάστατη εκτύπωση αναμένεται να προωθήσει την επανάσταση των μεθόδων κατασκευής όλο και πιο μπροστά και να φέρει μια νέα εποχή για την εξατομικευμένη κατασκευή. Οι καινοτομίες στην επιλογή των υλικών, στο σχεδιασμό αλλά και στην κατασκευή θα προκύψουν από την συγχώνευση της 3D εκτύπωσης με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής. Ακόμα η 3D εκτύπωση αναμένεται να γίνει το ίδιο σημαντική τόσο για τις κατασκευαστικές βιομηχανίες όσο και για τον μέσο καταναλωτή βρίσκοντας οικιακή χρήση.

6.1 Μελλοντικά υλικά

Ένας τομέας ανάπτυξης της τρισδιάστατης εκτύπωσης κάνει έρευνες σε νέα υλικά από κράματα. Επειδή η ενέργεια της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ιδιαίτερα συγκεντρωμένη, μπορεί να παράγει υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες σε μια πολύ μικρή περιοχή, ενώ άλλες περιοχές παραμένουν σε κανονικές θερμοκρασίες. Όταν χρησιμοποιείται η εκτύπωση 3D σε μεταλλικά υλικά, δίνει την ευκαιρία να ερευνηθούν κράματα με εξαιρετική απόδοση σε διαφορετικές θερμοκρασιακές συνθήκες. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν τους πυραυλοκινητήρες της NASA που μπορούν να αντέξουν σε υψηλή θερμοκρασία (3.315 ° C) και τροποποιημένες επιφάνειες που εκτυπώνονται από τον καθηγητή Huamin Wang και μπορούν να αντέξουν τη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες. Πλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η γονιδιωματική θεωρία υλικών για χρήση της τεχνολογίας 3D εκτύπωσης που έχει ως στόχο την ανάπτυξη κραμάτων με εξαιρετικά υψηλή αντοχή στη θερμοκρασία, εξαιρετικά ανθεκτικά και εξαιρετική ανθεκτικότητα στη διάβρωση και αντοχή στην τριβή [49].

Χρησιμοποιώντας έξυπνα και βιολογικά υλικά, η τρισδιάστατη εκτύπωση αναπτύσσεται αυτή τη στιγμή από 3D σε 4D και φτάνει μέχρι κατασκευές που περιλαμβάνουν έμβια πράγματα. Η εκτύπωση 4D είναι μια νέα διαδικασία που αποδεικνύει μια ριζική μετατόπιση στην παραγωγή πρωτοτύπων. Μπορεί να κάνει εκτυπώσεις πολλαπλών υλικών με την δυνατότητα μετασχηματισμού με το πέρασμα του χρόνου ή ένα προσαρμοσμένο σύστημα υλικού που μπορεί να αλλάξει από το ένα σχήμα στο άλλο, απευθείας από το υπόστρωμα εκτύπωσης. Αυτή η τεχνική προσφέρει μια καλύτερη διαδρομή από την ιδέα στην πραγματικότητα με λειτουργίες που έχουν ως βάση την απόδοση και είναι ενσωματωμένες στα υλικά. Η τέταρτη διάσταση αναφέρεται εδώ ως παράμετρος του χρόνου, τονίζοντας ότι οι τυπωμένες δομές δεν είναι πλέον απλά στατικά αντικείμενα. Αντίθετα, είναι προγραμματιζόμενα, ενεργά και μπορούν να μετασχηματιστούν ανεξάρτητα [50].

Η εκτύπωση 4D είναι ένας νέος τομέας έρευνας που έχει να αντιμετωπίσει πολλές προκλήσεις. Οι προκλήσεις αυτές αφορούν τον περιορισμό των υλικών ή των διεργασιών. Για παράδειγμα, στον τομέα του τεχνολογικού περιορισμού, μία από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει είναι η ανεπαρκής διαθεσιμότητα τεχνολογιών 3D εκτύπωσης. Οι εξελίξεις στην εκτύπωση 4D χρησιμοποιούν κυρίως την τεχνολογία PolyJet για την κατασκευή εξαρτημάτων πολλαπλών υλικών και την τεχνολογία SLM για την κατασκευή μεταλλικών εξαρτημάτων. Οι εκτυπωτές PolyJet χρησιμοποιούν υπεριώδη ακτινοβολία σε υγρά φωτοπολυμερή για να δημιουργήσουν δομές 3D, ενώ ο εξοπλισμός SLM χρησιμοποιεί λέιζερ για να λιώσει τα σωματίδια σκόνης. Έτσι, στην περίπτωση αυτή, οι αρχικές μορφές του υλικού πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια. Τα πολυμερικά έξυπνα υλικά ή τα έξυπνα σύνθετα υλικά πρέπει να είναι σε υγρή μορφή και πρέπει να είναι σκληρυνόμενα στην υπεριώδη ακτινοβολία για να είναι εκτυπώσιμα μέσω PolyJet. Τα μεταλλικά έξυπνα υλικά πρέπει να παραχθούν σε μορφή σκόνης για να είναι εκτυπώσιμα από την SLM. Αυτό περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τους τύπους των έξυπνων υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη της εκτύπωσης 4D.

6.2 Μελλοντικές διεργασίες

Μέσα στα επόμενα 5 χρόνια θα υπάρξουν ορισμένες σημαντικές εξελίξεις στην αλυσίδα εφοδιασμού της εκτύπωσης 3D όχι μόνο στο σχεδιασμό αλλά και στην παραγωγή. Ένα πλήθος εταιρειών θα προσφέρει σύντομα σχέδια CAD-CAM για λήψη από τους τελικούς καταναλωτές αλλά και από τους εμπόρους λιανικής πώλησης. Με αυτά τα σχέδια οι τελικοί καταναλωτές θα παράγουν προσαρμοσμένα προϊόντα στο σπίτι και οι επιχειρήσεις θα έχουν την δυνατότητα να παράγουν εξαρτήματα αντικατάστασης με την ίδια παραγγελία. Η εκτεταμένη χρήση του διαδικτύου θα αυξήσει την ικανότητα των χρηστών να εξετάσουν την βιβλιοθήκη CAD-CAM των διαθέσιμων σχεδίων και να μπορούν να τα «κατεβάσουν» εύκολα. Ο μεγάλος αριθμός CAD-CAM εφαρμογών, η διαθεσιμότητα υψηλής ποιότητας υλικών και το χαμηλότερο κόστος των υλικών θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των εκτυπωτών 3D οικιακής και επαγγελματικής ποιότητας. Μπορεί κάποιος να πει ότι πολλοί μη ανταγωνιστικοί επαγγελματίες ή επιχειρήσεις ίσως επιλέξουν να αγοράσουν από κοινού 3D εκτυπωτές για να μειώσουν το επενδυτικό τους κόστος. Στο μέλλον το εύρος των βιομηχανικών εφαρμογών 3D εκτύπωσης θα αναπτυχθεί καθώς οι νέοι εκτυπωτές 3D θα είναι σε θέση να παράγουν μεγαλύτερα προϊόντα και να πετύχουν υψηλότερα επίπεδα ακρίβειας. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί μεγάλη μείωση του κόστους των υλικών και των μηχανημάτων όσο περισσότεροι άνθρωποι και επιχειρήσεις θα χρησιμοποιούν την 3D εκτύπωση. Ακόμα, η χρήση της εκτύπωσης 3D θα διευρυνθεί λόγω της διαθεσιμότητας υλικών με μεγαλύτερη αντοχή και αντίσταση στη θερμότητα και την υγρασία. Το κόστος υλικών θα μειωθεί πιο πολύ λόγω της μεγαλύτερης διείσδυσης στην αγορά. Το μέλλον έχει μεγάλη υπόσχεση για την εκτύπωση 3D ως τεχνολογία και για τους

τελικούς χρήστες ως αποτέλεσμα. Οι μελλοντικές διεργασίες είναι πολύ πιο κοντά μας από όσο νομίζουμε [51].

Για παράδειγμα οι MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) μετατροπείς που έχουν κατασκευαστεί με τεχνολογία 3D εκτύπωσης θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη δικτύων αισθητήρων και στην έξυπνη κατασκευή διακεκριμένων συστημάτων.

Μελλοντικά, οι βιομηχανίες είναι πιθανό να συνδυάσουν διαφορετικές τεχνικές κατασκευής μαζί, και να τις ενσωματώσουν σε ένα ενιαίο κομμάτι εξοπλισμού. Ακόμα συνδυάζοντας αυτές τις τεχνικές στην αλυσίδα παραγωγής, θα μπορούσε να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη διαδικασία για την επίτευξη αποτελεσματικής κατασκευής σύνθετων προϊόντων όπως πρωτότυπα, καλούπια, ηλεκτρόδια και μοτίβα χύτευσης. Επίσης, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν απλές μήτρες που θα βοηθήσουν τη διαδικασία παραγωγής πρωτοτύπων, με σκοπό να εκμεταλλευτούν τόσο οι παραδοσιακές όσο και οι 3D τεχνικές εκτύπωσης [49],[52].

6.3 Τάσεις στο σχεδιασμό και παραγωγή νέων προϊόντων

Η τρισδιάστατη εκτύπωση αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς τα τελευταία 30 χρόνια κάτι που όπως φαίνεται θα συνεχιστεί και στο μέλλον. Το πολλά υποσχόμενο μέλλον αυτής της τεχνολογίας κάνει απρόβλεπτες τις επιπτώσεις της στην παραδοσιακή βιομηχανία. Η 3D εκτύπωση θα ωθήσει τους τρόπους κατασκευής προς τα εμπρός και θα φέρει μια νέα εποχή για την εξατομικευμένη κατασκευή με την πραγματοποίηση των παρακάτω στόχων: χρήση σχεδόν οποιουδήποτε υλικού για την κατασκευή οποιουδήποτε τμήματος, σε οποιαδήποτε ποσότητα και θέση. Οι καινοτομίες που θα προκύψουν θα εμπνευστούν από τη συγχώνευση της τρισδιάστατης εκτύπωσης με τις παραδοσιακές διαδικασίες παραγωγής. Τέλος, η εκτύπωση 3D θα είναι εξίσου σημαντική για τις μεταποιητικές βιομηχανίες, ισάξια πλέον με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής. Οι τάσεις ανάπτυξης στην τρισδιάστατη εκτύπωση είναι οι εξής: Οι καινοτομίες στο σχεδιασμό των προϊόντων, του εξοπλισμού, του σχήματος, της ολοκληρωμένης κατασκευής, αλλά και η μετάβαση της εκτύπωσης στη μικρο και νανο-κλίμακα.

6.3.1 Καινοτόμος σχεδιασμός

Στη μηχανική, τα βασικά οικονομικά οφέλη της τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να προέλθουν από τον επανασχεδιασμό προϊόντων και εξοπλισμού. Παραδοσιακά, οι σχεδιαστές θεωρούν μόνο τη δυνατότητα κατασκευής μιας δομής από την άποψη της ισοδύναμης κατασκευής και της αφαιρετικής κατασκευής. Ωστόσο, καθώς η παραγωγή προσθέτων γίνεται πιο διαδεδομένη, πολλές δομές προϊόντων και εξοπλισμού μπορούν να επανεξεταστούν από την οπτική της. Ο σχεδιασμός προϊόντων και εξοπλισμού πρέπει να επικεντρωθεί περισσότερο στη λειτουργική βελτιστοποίηση και λιγότερο στους περιορισμούς της κατασκευής και η εκτύπωση 3D θα το κάνει αυτό δυνατό. Οι δομές που θα μπορούσαν να επωφεληθούν από

αυτό το είδος επανασχεδιασμού περιλαμβάνουν τις δομές ανταλλαγής θερμότητας, τις ελαφρές δομές και τις μακρο-μικρο ενσωματωμένες δομές. Η 3D εκτύπωση έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε μια ποικιλία εξερευνησεων που περιλαμβάνουν επανασχεδιασμό. Για προϊόντα πληροφορικής, κινητήρες αεροσκαφών, κλιματιστικά και πυρηνικές εγκαταστάσεις, τα εξαρτήματα ανταλλαγής θερμότητας είναι απαραίτητα. Ο επανασχεδιασμός αυτών των στοιχείων χρησιμοποιώντας την εκτύπωση 3D μπορεί να έχει πολύτιμα οικονομικά οφέλη [49].

6.3.2 Καινοτόμες διαδικασίες: Από τον έλεγχο του σχήματος ως την ολοκληρωμένη κατασκευή

Στην αρχή η 3D εκτύπωση έδινε περισσότερη έμφαση στο σχήμα ενός τεμαχίου και χρησιμοποιήθηκε κυρίως για εφαρμογές πρωτοτυποποίησης. Όμως με την συνεχή έρευνα στην 3D εκτύπωση μεταλλικών υλικών, οι ερευνητές επικεντρώθηκαν στη μεταλλογραφική φάση υπό υψηλές συνθήκες μη ισορροπίας και στην κατανομή της εσωτερικής πίεσης μέσα στο τεμάχιο. Για παράδειγμα έχοντας τον έλεγχο της δύναμης της δέσμης λέιζερ και της ταχύτητας σάρωσης κατά τη διάρκεια της 3D εκτύπωσης, ελέγχεται τόσο το σχήμα όσο και η απόδοση των κατασκευαζόμενων. Έτσι η 3D εκτύπωση μεταμορφώνεται από μια τεχνολογία πρωτοτύπων σε μια μέθοδο παραγωγής που ελέγχεται το σχήμα και η απόδοση. Με τη βοήθεια της τρισδιάστατης εκτύπωσης τα υλικά μπορούν να τυπωθούν όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν καλύτερα.

Η φύση έχει δημιουργήσει πολλά υλικά και δομές που ενώ είναι ελαφριά έχουν μεγάλη δύναμη, όπως το μπαμπού και τα ανθρώπινα οστά. Με τη 3D εκτύπωση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτά τα υλικά για τη δημιουργία υλικών και προϊόντων υψηλής απόδοσης. Έχουμε τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε υλικά που είναι ελαφριά και έχουν υψηλή αντοχή και σχεδιάζουμε διάφορες εσωτερικές δομές, με σκοπό να επιτύχουμε τη μέγιστη ειδική δύναμη και ακαμψία. Κάνοντας χρήση της 3D εκτύπωσης για την κατασκευή προϊόντων και εξοπλισμού με υλικά και δομές με λειτουργική κλίση, μπορούμε να επιτύχουμε υψηλή απόδοση με ελάχιστα υλικά. Η 3D εκτύπωση μετατρέπεται από μία τεχνολογία κατασκευής πρόσθετων υλικών σε μία τεχνολογία κατασκευής πρόσθετων πολλαπλών υλικών. Η δημιουργία δομών λειτουργικής κλίσης ή μετα-υλικών και ο βέλτιστος σχεδιασμός αυτών των δομών θα προκαλέσει μεγάλες ευκαιρίες για καινοτομία προϊόντων και εξοπλισμού και θα προσελκύσει την προσοχή των ερευνητών σε διάφορους τομείς [49].

6.3.3 Καινοτόμες διεργασίες: Παραγωγή σε μικρο- και νάνο-κλίμακες

Η 3D εκτύπωση μικρο- και νάνο-δομών έχει αποδειχτεί ότι έχει μεγάλη δυνατότητα εφαρμογής. Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την κατασκευή διαφόρων μικροηλεκτρονικών μετατροπέων και είναι πιο ευέλικτη από την τωρινή κατασκευή μικροηλεκτρονικής. Ο μηχανισμός κατασκευής από τη βάση προς τα πάνω είναι συνεπής με τη διαδικασία παραγωγής προσθέτων για 3D

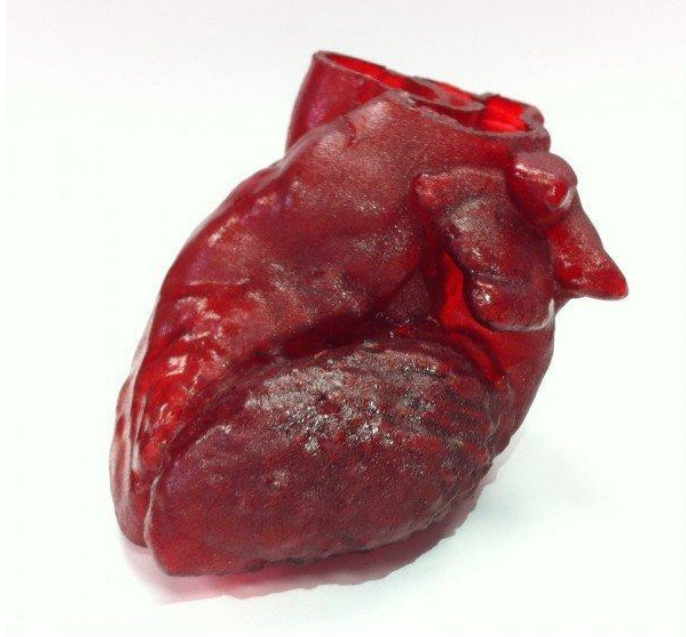
εκτύπωση. Μία άλλη τεχνολογία κατασκευής πρωτοτύπων που ξεπροβάλλει σε αυτό τον τομέα είναι η εκτύπωση ηλεκτρονικών με διαδικασίες όπως η εκτύπωση με ψεκασμό μελάνης και η εκτύπωση εξωθούμενων αερολυμάτων. Πρωταρχικά, οι διαδικασίες αυτές αναπτύχθηκαν ως τεχνική εκτύπωσης 2D για την κατασκευή ηλεκτρονικών ειδών μονής στοιβάδας. Τελευταία, η πρόοδος που υπάρχει στα υλικά μελάνης και τον έλεγχο των μηχανημάτων, τέτοιες διαδικασίες παραγωγής προσθέτων μετατρέπονται σε διαδικασίες 3D εκτύπωσης για την κατασκευή πολύπλοκων σύνθετων ηλεκτρονικών συσκευών [49].

6.4 Μελλοντικές εφαρμογές

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στις μελλοντικές εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε διάφορους τομείς.

Ιατρική

Στην ιατρική η ευελιξία των διεργασιών 3D εκτύπωσης έχει βελτιώσει το φάσμα και την ποικιλία των κριωμάτων που μπορούν να δημιουργηθούν. Οι επιστήμονες μπορούν πλέον να αναμειγνύουν εμβρυικά βλαστικά κύτταρα με υδρογέλη, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο εμβρυοειδή όργανα. Μέχρι στιγμής τα τρισδιάστατα βλαστοκύτταρα έχουν παραχθεί σε μεμονωμένα στρώματα που συχνά οδηγούν σε απρόβλεπτα αποτελέσματα. Η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί τόσο, που επιτρέπει στους επιστήμονες να εκτυπώνουν βλαστοκύτταρα σε μια 3D δομή πλέγματος έξι στρώσεων. Η τεχνολογία 3D bioprinting θα έχει πολύ μεγάλες δυνατότητες μόλις τελειοποιηθεί. Οι γιατροί και άλλοι επαγγελματίες του χώρου, θα μπορούν πλέον να χρησιμοποιούν 3D παράγωγα για την ανάπτυξη ιστών και οργάνων που θα βοηθήσουν τους ασθενείς να αναρρώνουν ταχύτερα και να δέχονται πιο άμεσα τις μεταμοσχεύσεις. Σε αυτό θα βοηθήσει και η μελλοντική εξέλιξη της κατασκευής σύνθετων δικτύων αιμοφόρων αγγείων για τη μεταφορά της ροής του αίματος στον ζωντανό ιστό.



Σχήμα 22. Τρισδιάστατα εκτυπωμένη καρδιά (από 3dprint.com)

Εκτός από τα βασικά όργανα έχει δημιουργηθεί και συνθετικό δέρμα. Με το 3D τυπωμένο δέρμα δίνεται η δυνατότητα για δοκιμή των επιδράσεων των καλλυντικών στο ανθρώπινο δέρμα. Όταν ολοκληρωθεί πλήρως η τεχνολογία αυτή, δεν θα υπάρχει η ανάγκη δοκιμής των καλλυντικών στα ζώα επιτρέποντας ταυτόχρονα την πρόσβαση σε καλλυντικά προϊόντα χωρίς παρενέργειες. Στον τομέα των φαρμάκων οι νέες εξελίξεις στη 3D εκτύπωση υπόσχονται τη χρήση προσαρμοσμένων φαρμάκων που θα ικανοποιούν τις ακριβείς ανάγκες του οργανισμού του ασθενή. Επιπλέον, οι ιατρικές εταιρείες αναπτύσσουν τρόπους για την παραγωγή οστικών αντικαταστάσεων από υλικά όπως το τιτάνιο και το πλαστικό PEKK. Οι ερευνητές προσπαθούν τώρα με τη χρήση της 3D εκτύπωσης να δημιουργήσουν οστά που έχουν εξωτερικό περίβλημα από φωσφορικό ασβέστιο. Το ορυκτό αυτό επειδή είναι φυσικό συστατικό των οστών θα μειώσει τη πιθανότητα απόρριψης ή μόλυνσης και τα προϊόντα οστών θα κυκλοφορήσουν στην αγορά πολύ σύντομα [53].

Αεροδιαστημική

Η 3D εκτύπωση είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας που επηρέασε τη βιομηχανία της αεροδιαστημικής μετά την ανακάλυψη των σύνθετων υλικών. Άλλαξε τον τρόπο με τον οποίο οι μηχανικοί κατασκευάζουν και σχεδιάζουν κινητήρες, ατράκτους, μηχανισμούς προσγείωσης και πολλά άλλα εξαρτήματα. Στο κοντινό μέλλον τα πάντα από αεροπλάνα μέχρι και δορυφόρους θα συναρμολογούνται από τρισδιάστατα τμήματα. Επίσης, στο μέλλον θα είναι δυνατή η κατασκευή ενός ολόκληρου αεροπλάνου με το πάτημα ενός κουμπιού. Η εταιρία Airbus έχει ήδη φανταστεί ένα ιδιωτικό τζετ που εκτυπώνεται 3D. Πιστεύουν ότι αυτό το εγχείρημα

μπορεί να καταστεί δυνατό μέχρι το 2050, αλλά με τον τρέχοντα ρυθμό ανάπτυξης, οι πιθανότητες είναι ότι αυτό μπορεί να επιτευχθεί και γρηγορότερα [54],[55].

Τρόφιμα

Στον τομέα των τροφίμων ο 3D εκτυπωτής τροφίμων οικιακής χρήσης μπορεί να καλύψει τα κενά της γνώσης του χρήστη παρέχοντας μια συσκευή παραγωγής τροφίμων με υπολογιστή. Ο χρήστης θα επιλέγει τη γεύση, την υφή κλπ και το μηχάνημα θα κάνει αυτές τις απαιτήσεις μια νέα συνταγή για φαγητό. Η αυτοματοποίηση θα έκανε εφικτή την επιβολή μιας σωστής διατροφής. Δηλαδή, θα μπορεί ο χρήστης να παρακολουθεί την πρόσληψη διατροφής και να προσαρμόζει τη μερίδα και το περιεχόμενο βάσει μιας συγκεκριμένης δίαιτας.

Θα πρέπει όμως να αναπτυχθούν πιστοποιημένοι εκτυπωτές για τρόφιμα. Για την ανάπτυξη τέτοιων εκτυπωτών τα συστήματα θα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να καθαρίζονται εύκολα. Είναι πολύ πιθανό, επιφάνειες ανοξειδωτού χάλυβα να απαιτηθούν και η κατασκευή του εξοπλισμού θα πρέπει να προσαρμοστεί στα εθνικά πρότυπα όπως τα πρότυπα του USDA στις Ηνωμένες Πολιτείες. Όλα αυτά, είναι πιθανό στο μέλλον να επιλύσουν το πρόβλημα που σταδιακά προκύπτει με τη μείωση των φυσικών πόρων και των αγροκαλλιεργειών αλλά και το πρόβλημα της παγκόσμιας πείνας και της πρόσβασης σε τροφή από άτομα σε απομακρυσμένες ή τριτοκοσμικές κοινωνίες.

Η βιομηχανία παραγωγής τροφίμων μικρής κλίμακας θα επωφεληθεί και αυτή από την τρισδιάστατη εκτύπωση. Για να γίνει αυτό όμως θα χρειαστούν μεγαλύτεροι εκτυπωτές τροφίμων με μεγαλύτερα αποθέματα. Ένας άλλος παράγοντας που περιορίζει την περαιτέρω ανάπτυξη είναι η αργή ταχύτητα της διαδικασίας. Η 3D εκτύπωση είναι ένα αργό σύνολο τεχνολογιών και συχνά χρειάζεται ώρες για την παραγωγή μεγάλων σχημάτων. Για χρήση σε βιομηχανικό επίπεδο, οι εκτυπωτές θα πρέπει να είναι ή ταχύτεροι ή να είναι αρκετά φθηνοί έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα πάρα πολύ από αυτούς. Αυτά είναι τα σημεία στα οποία αναμένεται να επικεντρωθούν οι επιστήμονες στο μέλλον ώστε να γίνει η τρισδιάστατη εκτύπωση μια βιομηχανική μέθοδος ανάπτυξης τροφίμων σε μεγάλη κλίμακα [56].

Μόδα και κοσμήματα

Τέλος, ακόμα και στον χώρο της μόδας και των κοσμημάτων οι καταναλωτές στο μέλλον θα μπορούν να σχεδιάζουν τα δικά τους ρούχα και αξεσουάρ από το σπίτι τους, επιλέγοντας μόνοι τους τα υλικά και τα σχέδια εκτύπωσης. Έτσι, ρούχα που θα είναι εξατομικευμένα ανάλογα με το σώμα του κάθε ατόμου θα είναι δυνατά χωρίς τα μεγάλα κόστη που προϋποθέτει σήμερα η υψηλή ραπτική [57].

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα Εργασίας

Τα τελευταία 20 χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές, διαδικασίες και συστήματα παραγωγής 3D εκτύπωσης. Σήμερα, η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει αναδειχθεί σε ένα χρήσιμο εργαλείο σε πολλούς τομείς της καθημερινής ζωής αλλά και της βιομηχανικής παραγωγής. Επειδή οι επιδόσεις του εκτυπωτή, η ανάλυση, τα υλικά αλλά και οι ανάγκες για καινούργια προϊόντα έχουν αυξηθεί, το ίδιο έχει συμβεί και στις εφαρμογές. Οι επιστήμονες συνεχίζουν να βελτιώνουν τις υπάρχουσες εφαρμογές που χρησιμοποιούν την 3D εκτύπωση και εξερευνούν συνεχώς τη δημιουργία νέων.

Στον τομέα της βιοεκτύπωσης, πολλές από τις προκλήσεις που υπάρχουν είναι σχετικές με συγκεκριμένες τεχνικές, υλικές και κυτταρικές πτυχές της διαδικασίας. Αν και το πεδίο βρίσκεται σε πρόωρο στάδιο, έχει ήδη γίνει πραγματικότητα η σύνθεση αρκετών ιστών σε ανθρώπινη κλίμακα που προσεγγίζουν τη λειτουργικότητα που απαιτείται για τη μεταμόσχευση. Οι τεχνολογικές προκλήσεις περιλαμβάνουν την ανάγκη για αυξημένη ανάλυση, ταχύτητα και συμβατότητα με υλικά βιολογικής φύσεως. Ένα χρήσιμο υλικό για τη βιογραφική εκτύπωση πρέπει να είναι βιοσυμβατό, να μπορεί να εκτυπώνεται εύκολα και να διατηρεί την κυτταρική βιωσιμότητα και λειτουργία του, παρέχοντας έτσι δομική και μηχανική υποστήριξη στο τελικό προϊόν εκτύπωσης.

Στον τομέα της οδοντιατρικής σημαντική είναι η ανάπτυξη που έχει σημειωθεί και ειδικότερα στην προσθετική, την ορθοδοντική και τη γναθοχειρουργική. Η ανάγκη που υπάρχει για δημιουργία προϊόντων προσαρμοσμένων στον ασθενή, έχει οδηγήσει την 3D εκτύπωση στην κατασκευή εξειδικευμένων οδοντικών προσθέτων που βοηθούν στην ομαλή λειτουργία του στόματος, ξεκινώντας από κάτι πολύ απλό όπως ένα εκτυπωμένο μασελάκι και φτάνοντας στην αντικατάσταση ολόκληρης της γνάθου του ασθενή.

Η 3D εκτύπωση έχει αρχίσει να παρουσιάζει πλήθος εφαρμογών στους κλάδους της αεροδιαστημικής και της αυτοκινητοβιομηχανίας, παρέχοντας ένα αποδοτικό και οικονομικά προσοδοφόρο τρόπο παραγωγής προσαρμοσμένων προϊόντων. Παρότι η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών τεχνικών, συνεχίζει να θεωρείται εξειδικευμένη τεχνολογία από τις περισσότερες βιομηχανίες. Για να γίνει πιο αποδεκτή από τη βιομηχανία, απαιτείται έρευνα και ανάπτυξη όσον αφορά τα σχέδια, τα υλικά, τις καινοτόμες διαδικασίες, τους εκτυπωτές, τη μοντελοποίηση και τον έλεγχο των διαδικασιών.

Στη βιομηχανία τροφίμων, η 3D εκτύπωση αναμένεται να συνεχίσει να εξελίσσεται. Η βιομηχανία τροφίμων μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης θα μπορέσει να καλύψει τις διατροφικές ανάγκες των καταναλωτών και να απλουστεύσει τη διανομή σε δύσκολες τοποθεσίες. Η χρήση των νέων τεχνολογιών ίσως φανεί χρήσιμη σε μικρούς τοπικούς παραγωγούς αλλά και σε πολυεθνικές εταιρείες

διανομής τροφίμων, ενώ εστιατόρια όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή προς όφελός τους.

Στον τομέα των υλικών έχουν πλέον αναπτυχθεί έξυπνα υλικά η χρήση των οποίων οδήγησε στο πέρασμα από την 3D στη 4D εκτύπωση. Η 3D εκτύπωση ενός μοναδικού έξυπνου υλικού είναι η βασική μορφή της εκτύπωσης 4D, οπότε σε αυτόν τον τομέα πρέπει να γίνουν περαιτέρω μελέτες σε ότι αφορά την τελική μικροδομή και τη συμπεριφορά του έξυπνου υλικού. Η τρισδιάστατη εκτύπωση πολλαπλών έξυπνων υλικών ή ένας συνδυασμός έξυπνων υλικών και συμβατικών υλικών απαιτεί τόσο γνώσεις σχεδίασης και διαδικασιών, η οποία αντιπροσωπεύει επί του παρόντος την τεχνική της εκτύπωσης 4D.

Επομένως, οι δύο κύριες προκλήσεις που υπάρχουν για την ανάπτυξη της επόμενης γενιάς 3D εκτυπωτών είναι η βελτίωση της ταχύτητας και της ανάλυσης εκτύπωσης με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και η ανάπτυξη νέων υλικών 3D εκτύπωσης με συντονισμένες μηχανικές, χημικές και φυσικές ιδιότητες.

Στο μέλλον, η 3D εκτύπωση θα σταματήσει να θεωρείται ως αυτόνομη διαδικασία, αλλά είναι πιθανό να αποτελέσει αναπόσπαστο μέρος ενός συστήματος πολλαπλών διεργασιών ή μια ολοκληρωμένη διαδικασία πολλαπλών συστημάτων που θα ταιριάζει με την ανάπτυξη νέων υλικών και νέων απαιτήσεων σε προϊόντα.

Βιβλιογραφία

- [1] Σ. Συσούρκα, «Εφαρμογές Τηλεπικοινωνιακών Διατάξεων. Τρισδιάστατος Εκτυπωτής (3D Printer).», 18 Μάιος 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://brain.ee.auth.gr/dokuwiki/doku.php?id=3d_printer:3d_printer.
- [2] S. Bartlett, «Printing organs on demand.,» *Nat. English Journal of Medicine*, p. 684, 2013.
- [3] L. Mertz, «Dream It, Design It, Print it in 3D.,» *IEEE Pulse*, pp. 15-21, Νοέμβριος 2013.
- [4] «3D Printing – The New Way to Express Creativity» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.carnagerobotics.com/3d-printing-history/>
- [5] B. C. Gross, J. L. Erkal, S. Y. Lockwood, C. Chen και D. M. Spence, «Evaluation of 3D Printing and Its Potential Impact on Biotechnology and the Chemical Sciences.,» *Analytical Chemistry*, pp. 3240-3253, 16 Ιανουάριος 2014.
- [6] C. L. Ventola, «Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses.,» *P&T*, pp. 704-711, Οκτώβριος 2014.
- [7] L. Mertz, «New World of 3-D Printing Offers “Completely New Ways of Thinking”.,» *IEEE Pulse*, pp. 12-14, Νοέμβριος 2013.
- [8] Loughborough University, «<http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/>,» Loughborough University. [Ηλεκτρονικό].
- [9] S. Nathan, «Ten minutes with the inventor of 3D printing,» *The Engineer.*, 14 Ιούλιος 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.theengineer.co.uk/issues/july-2014-online/ten-minutes-with-the-inventor-of-3d-printing/>.
- [10] Ά. Βασίλας, «Αξιολόγηση Παραγωγής Χρησιμοποιώντας Κατανεμημένα Συστήματα 3D Printing-Cloud Manufacturing.Διπλωματική Εργασία.,» Πανεπιστήμιο Πειραιώς. Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στη Βιομηχανική Διοίκηση και Τεχνολογία., Αθήνα, 2015.
- [11] C. Barnatt, «3D Printing Third Edition».
- [12] J.-Y. Lee, J. An και C. K. Chua, «Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials,» *Applied Materials Today*, pp. 120-133, 9 Φεβρουάριος 2017.

- [13] Z. X. Khoo, J. E. M. Teoh, Y. Liu, C. K. Chua, S. Yang, J. An, K. F. Leong και W. Y. Yeong, «3D printing of smart materials: A review on recent progresses in 4D printing.,» *Virtual and Physical Prototyping*, pp. 103-122, 26 Οκτώβριος 2015.
- [14] D. V. Rosato, M. G. Rosato και D. V. Rosato, *Injection Molding Handbook*. 3rd Edition., Springer US, 2012.
- [15] Χ. Κόκκινος, «Χημικό Εργαστήριο. Χύτευση με έγχυση.,» 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://chimikoergastirio.blogspot.gr/2010/12/injection-molding.html>.
- [16] Σ. Μ. Μεταλλείων - Μεταλλουργών ΕΜΠ, «Χύτευση με έγχυση.,» [Ηλεκτρονικό]. Available: www.metal.ntua.gr/uploads/3455/372/Chap11gr.pdf.
- [17] Γ. Μανσούρ, «ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ - ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ. ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ NC - CNC.,» 2010.
- [18] «Plastic Forming: Plastic Deformation Techniques.,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sculpteo.com/en/glossary/plastic-forming-definition/>.
- [19] Σ. Παπαδάκης, «Επεξεργασία & Μορφοποίηση Θερμοπλαστικών Πολυμερών.,» Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://docplayer.gr/11330028-Epexergasia-morfopoiisi-thermoplastikon-polymeron-selida-1-apo-6.html>.
- [20] J. Leone, «Plastic Joining Methods.,» Sciencing, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://sciencing.com/plastic-joining-methods-6924074.html>.
- [21] «Τεχνητά Αιμοφόρα Αγγεία» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.Youropia.gr>
- [22] «Επιστήμονες εκτύπωσαν ανθρώπινο αυτί» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.iefimerida.gr/news/251223/epistimones-ektyposan-anthropino-ayti-erhontai-ta-trisdiastata-mosheymata-eikones-vinteo>
- [23] B. Meskó, «12 Things We Can 3D Print in Medicine Right Now,» 26 Φεβρουάριος 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://3dprintingindustry.com/news/12-things-we-can-3d-print-in-medicine-right-now-42867/>.
- [24] H. N. Chia και B. M. Wu, «Recent advances in 3D printing of biomaterials.,» *Journal of Biological Engineering*, pp. 1-14, 2015.
- [25] «Professional Materials for Digital Dentistry.,» Formlabs, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://formlabs.com/materials/dentistry/>.

- [26] M. Molitch-Hou, «3dprintingindustry,» 10 8 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://3dprintingindustry.com/news/dentures-get-3d-printed-boost-with-dentcas-fda-approval-55274/>.
- [27] J. Krajekian, «3D Printing Role in Oral and Maxillofacial Surgery - Current and Future Trends,» *Advances in Health and Oral Health* , p. 3, 2016.
- [28] R. Peycheva, «3D Printing and the Aerospace Industry.,» 3dengr.com, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.3dengr.com/3d-printing-and-the-aerospace-industry.html>.
- [29] J. Young, «The World's First 3D Printed Copper Rocket Engine Parts developed by NASA.,» 23 Απρίλιος 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://3dprinting.com/aerospace/the-worlds-first-3d-printed-copper-rocket-engine-parts-developed-by-nasa/>.
- [30] C. Scott, «3D Printed Rocket is Ready to Go to the Moon.,» 12 Οκτώβριος 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://3dprint.com/100215/3d-printed-rocket-to-the-moon/>.
- [31] S. Grunewald, «Rolls-Royce Flies Their Most Powerful Jet Engine Ever Made Thanks to 3D Printing.,» 8 Νοέμβριος 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://3dprint.com/104518/rollsroyce-powerful-jet-engine/>.
- [32] N. Hall, «Top 10 3D printed automotive industry innovations available right now.,» *3D Printing Industry*, 2016.
- [33] «EOS GmbH Electro Optical Systems,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.eos.info/about_eos/history.
- [34] 3D Systems' CJP 3D Printer Delivers the Ultimate Solution for Hankook Tires.,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.3dsystems.com/learning-center/case-studies/3d-systems-projetr-660-ultimate-solution-hankook-tire-concept-design>.
- [35] Oxygen to Innovation, «Applications of 3D Printing in Architecture.,» 9 Αύγουστος 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://medium.com/@o2itech/applications-of-3d-printing-in-architecture-8753fa5f9037>.
- [36] Canada Mortgage and Housing Corporation, «3D Printing and the Construction Industry. Housing Observer 2015.,» Δεκέμβριος 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.cmhc-schl.gc.ca/en/hoficlincl/observer/upload/Observer_2015_Article3_EN_w_ACC.pdf.

[37] 3D Printing Industry, «The free beginner's guide to 3D printing.,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://3dprintingindustry.com/wp-content/uploads/2014/07/3D-Printing-Guide.pdf>.

[38] Aniwaa, «3D printing for architects and the architecture industry.,» 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.aniwaa.com/3d-printing-for-architecture/>.

[39] Divided by Zero, «3D Printing for Architects - Transforming tomorrow's Landscape.,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.divbyz.com/industries/architecture>.

[40] E. Chalcraft, «"In the future we might print not only buildings, but entire urban sections".,» 21 Μάιος 2013. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.dezeen.com/2013/05/21/3d-printing-architecture-print-shift/>.

[41] Fabian, «10 Examples of How 3D Printing Is Changing Consumer Products.,» 18 Μάρτιος 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://i.materialise.com/blog/10-examples-of-how-3d-printing-is-changing-consumer-products-meet-10-3d-printing-experts-and-their-dreams/>.

[42] B. Yusuf, «45 Cool Things to 3D Print Which Are Actually Useful.,» 27 Απρίλιος 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://all3dp.com/1/useful-cool-things-3d-print-ideas-3d-printer-projects-stuff/>.

[43] Outsource 2 India, «How is 3D Printing Changing the Food Industry?,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.outsource2india.com/eso/mechanical/articles/3d-printing-impact-food-industry.asp>.

[44] R. Mahony, «3D Printing As A Solution To Global Food Crises.,» 4 Νοέμβριος 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://3dprinting.com/food/3d-printing-as-a-solution-to-global-food-crises/>.

[45] F. Houser, «Gourmet's Essential Guide to 3D Printed Food.,» All about 3D printing, 17 Μάρτιος 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://all3dp.com/3d-printed-food-3d-printing/#19>.

[46] L. Crampton, «3D Printers for Food: Technology and Applications.,» Turbo Future, 12 Μάρτιος 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://turbofuture.com/consumer-electronics/3D-Printers-For-Food-Technology-and-Applications>.

[47] 3DPrinting.com, «Rapid Prototyping and the Food Industry.,» 10 Μάρτιος 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://3dprinting.com/food/rapid-prototyping-food-industry/>.

- [48] R. Ahmed, «4 Famous Restaurants that Use 3D Printers.,» 24 Μάρτιος 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://3dprinting.com/food/4-famous-restaurants-that-use-3d-printers/>.
- [49] B. Lu, D. Li και X. Tian, «Development Trends in Additive Manufacturing and 3D Printing.,» *Engineering*, p. 85–89, Μάρτιος 2015.
- [50] S. Tibbits, S. Linor, D. Dikovskiy και S. Hirsch, «4D Printing: Multi-Material Shape Change.,» *MIT Self-Assembly Lab and Stratasys*, pp. 116-121, 2013.
- [51] B. Berman, «3-D printing: The new industrial revolution.,» *Business Horizons*, 2012.
- [52] D. Johnson, «3D Printing: The Next Revolution in Industrial Manufacturing.,» UPS & The Consumer Technology Association (CTA), 2015.
- [53] L. Michaels, «6 Ways 3D Printing is Shaping the Future of the Medical Industry.,» 19 Ιούλιος 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.fabbaloo.com/blog/2016/7/20/6-ways-3d-printing-is-shaping-the-future-of-the-medical-industry>.
- [54] A. Weber, «Additive Manufacturing Takes Off in Aerospace Industry.,» Assembly, 4 Ιανουάριος 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.assemblymag.com/articles/93176-additive-manufacturing-takes-off-in-aerospace-industry>.
- [55] T. Fermin, «3D-Printing; The Way of the Future.,» Royal Aeronautical Society, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.aerosociety.com/Assets/Docs/3D%20printing%20revised.pdf>.
- [56] J. I. Lipton, M. Cutler, F. Nigl, D. Cohen και H. Lipson, «Additive Manufacturing for the Food Industry-A review.,» *Trends in Food Science & Technology*, pp. 1-18, 14 Φεβρουάριος 2015.
- [57] J. Tarmy, «The Future of Fashion Is 3D Printing Clothes at Home.,» Bloomberg Pursuits, 15 Απρίλιος 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-04-15/3d-printing-is-poised-to-bring-haute-couture-into-the-home>.